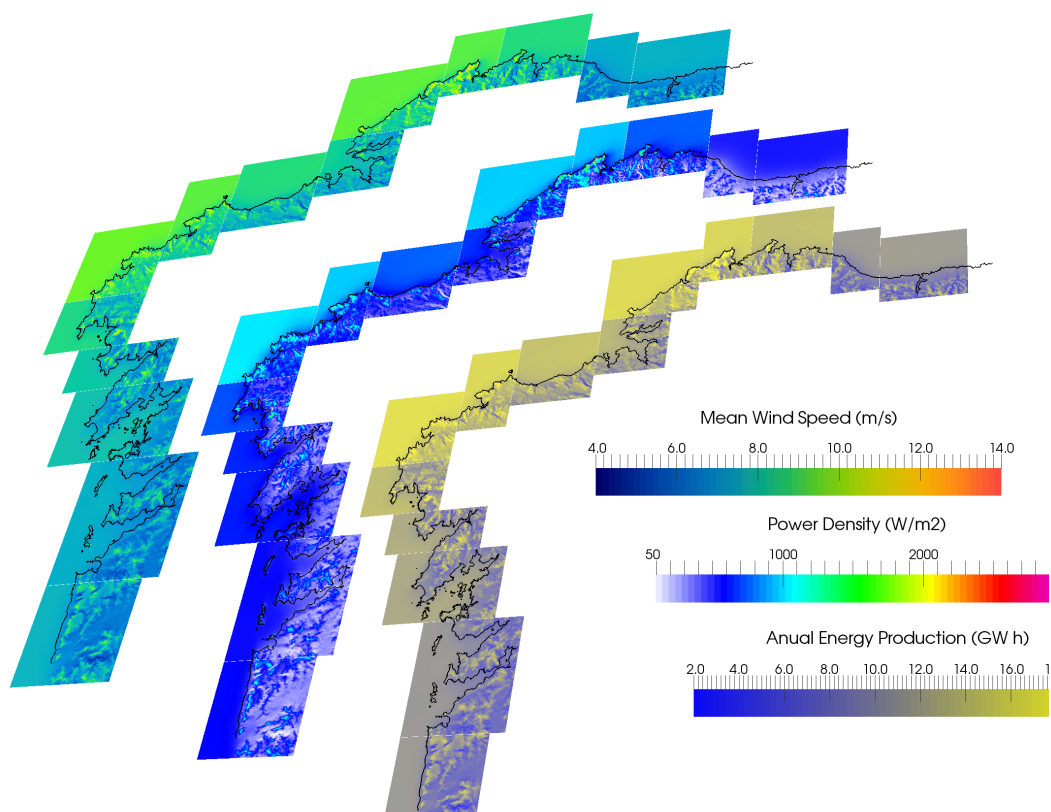


Creación de un Atlas de viento costero de alta resolución para Galicia combinando WAsP y las salidas del modelo WRF de MeteoGalicia



Elaborado por:

MeteoGalicia - Departamento de Predicción Numérica: numerico.meteogalicia@xunta.es

D3 Applied Technologies - Carlos Otero: carlosotero@d3atech.com

Este desarrollo ha sido financiado por el proyecto del Espacio Atlántico EnergyMare (INTERREG IV-B, Nr. 2011-1/157).

Índice

1. Introducción	5
1.1. El modelo WRF-MeteoGalicia	5
1.2. El modelo WAsP	7
2. Metodología	8
2.1. Datos de WRF-MeteoGalicia	8
2.2. Dominios WAsP	9
2.3. Generalización del viento	9
2.4. Configuración del modelo WAsP	10
3. Resultados	12
3.1. Niveles verticales	12
3.2. Velocidad media anual	13
3.3. Densidad de potencia	13
3.4. Producción media anual de energía	14
A. Anexo I: Recurso eólico costero en Galicia	15
A.1. Ribadeo	16
A.1.1. Velocidad media anual y densidad de potencia	16
A.1.2. Producción media anual de energía	19
A.2. Burela	20
A.2.1. Velocidad media anual y densidad de potencia	20
A.2.2. Producción media anual de energía	23
A.3. Viveiro	24
A.3.1. Velocidad media anual y densidad de potencia	24
A.3.2. Producción media anual de energía	27
A.4. Ortigueira	28
A.4.1. Velocidad media anual y densidad de potencia	28
A.4.2. Producción media anual de energía	31
A.5. Valdoviño	32
A.5.1. Velocidad media anual y densidad de potencia	32
A.5.2. Producción media anual de energía	35
A.6. A Coruña - Ferrol	36
A.6.1. Velocidad media anual y densidad de potencia	36
A.6.2. Producción media anual de energía	39
A.7. Arteixo	40
A.7.1. Velocidad media anual y densidad de potencia	40

A.7.2. Producción media anual de energía	43
A.8. Laxe	44
A.8.1. Velocidad media anual y densidad de potencia	44
A.8.2. Producción media anual de energía	47
A.9. Muxía	48
A.9.1. Velocidad media anual y densidad de potencia	48
A.9.2. Producción media anual de energía	51
A.10. Fisterra	52
A.10.1. Velocidad media anual y densidad de potencia	52
A.10.2. Producción media anual de energía	55
A.11. Muros - Noia	56
A.11.1. Velocidad media anual y densidad de potencia	56
A.11.2. Producción media anual de energía	59
A.12. Arousa	60
A.12.1. Velocidad media anual y densidad de potencia	60
A.12.2. Producción media anual de energía	63
A.13. Vigo - Pontevedra	64
A.13.1. Velocidad media anual y densidad de potencia	64
A.13.2. Producción media anual de energía	67
A.14. A Guarda	68
A.14.1. Velocidad media anual y densidad de potencia	68
A.15. Base de datos	71
B. Anexo II: Verificación	72
B.1. Resultados de la validacion	74
B.1.1. Ribadeo	74
B.1.2. Burela	74
B.1.3. Viveiro	75
B.1.4. Ortigueira	75
B.1.5. Valdoviño	76
B.1.6. A Coruña - Ferrol	77
B.1.7. Arteixo	77
B.1.8. Laxe	78
B.1.9. Muxia	78
B.1.10. Muros - Noia	79
B.1.11. Arousa	79
B.1.12. Vigo - Pontevedra	80
B.1.13. A Guarda	82

Resumen

El presente informe muestra la metodología utilizada para la creación de un atlas de viento para la costa gallega mediante el uso de la base de datos de simulaciones de predicción meteorológica creada por MeteoGalicia en el periodo 2008-2013. Esta serie de 6 años de datos, con 4km de resolución de malla, nos permite alimentar la herramienta de software WAsP (Wind Atlas Analysis and Application Program), con la que se evalúa el recurso eólico a una resolución de 100 metros. Esto permite obtener los mapas de velocidad media anual, de densidad de potencia media anual y de los parámetros de la distribución de Weibull del módulo de la velocidad del viento. Además, se calcula un mapa de la producción anual de energía teniendo en cuenta las características de un modelo de aerogenerador 'Offshore' genérico.

El proyecto pretende facilitar el acceso público a los resultados calculados con lo que se han transformado las salidas del programa WAsP a formato netCDF, compatible con el servidor tipo Thredds de MeteoGalicia.

1. Introducción

El presente proyecto “Creación de un Atlas de viento costero de alta resolución para Galicia combinando WAsP y salidas del modelo WRF de MeteoGalicia” se basa en el uso de las series de 6 años completos de datos generados por la ejecución diaria del modelo WRF (*Weather Research and Forecasting model*) en MeteoGalicia. El periodo comprende desde el año 2008 hasta el año 2013.

Estos datos de viento son procesados por la herramienta de software WAsP. Se trata de una de las herramientas más utilizadas en la caracterización del viento climático en el sector de la energía eólica y calcula los forzamientos en el viento local (montañas, rugosidad y obstáculos) para poder estimar un “viento generalizado”, véase el apartado 1.2. Este viento se utiliza para realizar una extrapolación horizontal y vertical, a muy altas resoluciones, en las regiones con características climáticas similares.

Para la estimación del viento costero climático a una resolución espacial de 100 metros, se consideran los puntos de malla del modelo WRF como estaciones “virtuales” que nos proporcionan las series de datos climáticos necesarias. El modelo de meso-escala calcula a 4km de resolución el estado de la atmósfera definido por el modelo global GFS. Esto nos permite obtener una descripción de la situación atmosférica más acorde a las características locales.

Cabe destacar que para la realización de un estudio del clima del viento local, o de si un emplazamiento es el idóneo para la construcción de un parque eólico, se requiere como mínimo de un año de datos además de métodos estadísticos que nos permitan estimar el comportamiento del viento a largo plazo. Dichos métodos se conocen como LTC (*Long Term Correction*) y se aplican para corregir datos de viento de corto plazo en base a observaciones cercanas con registros de viento de largo plazo. En nuestro caso se disponen de 6 años de datos completos y se consideran suficientes atendiendo a la variabilidad climática de la región en estudio. Se ha optado así por el uso de las series originales de datos sin aplicarle la corrección climática.

A continuación se describen más en detalle las características de ambos modelos.

1.1. El modelo WRF-MeteoGalicia

La integración de las ecuaciones matemáticas de la física de la atmósfera y la dinámica de fluidos a modelos de escala global permite conocer la circulación general de la atmósfera. Debido a su naturaleza global y al alto coste de computo, la discretización espacial en el modelo GFS está limitada a una resolución máxima de hasta 0.5 grados (60 km en latitudes medias). El modelo GFS es muy útil para una caracterización de la atmósfera a escala sinóptica y proporciona valores representativos en regiones con una orografía homogénea.

El modelo regional WRF es una herramienta de “downscaling” dinámico de los modelos globales. Los principios físicos empleados son los mismos que para los modelos globales pero son aplica-

dos a regiones reducidas. Esto permite resolver nueva fenomenología de escala sobre la orografía compleja de Galicia.

El modelo proporciona predicciones de las variables atmosféricas en 3 dimensiones e incluye variables como la temperatura, viento, precipitación, humedad, presión, flujos térmicos y flujos de radiación entre otros. La configuración del modelo consta de tres dominios de simulación anidados con resoluciones de malla de 36km, 12km y 4km.

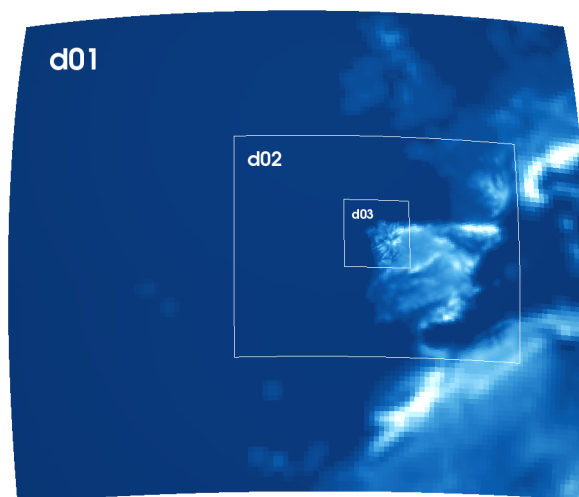


Figura 1: Dominios d01, d02 y d03 de WRF-MeteoGalicia

La cobertura espacial de los dominios de simulación se muestra en la Figura 1.

CUMULUS	Kain-Fritsch scheme
MICROPHYSICS	WSM Single-Moment 6-class scheme
PLANETARY BOUNDARY LAYER	Yonsei University scheme (YSU)
LAND SURFACE PHYSICS	5-layer thermal diffusion
LONG AND SHORT WAVE RADIATION	Dudhia scheme

Cuadro 1: Configuración física del modelo WRF-MeteoGalicia.

La configuración física del modelo se resume en el Cuadro 1 y es la misma en todos los dominios de simulación.

El servicio de predicción realiza 2 ejecuciones diarias del modelo, inicializadas con las salidas del GFS de las 00Z y 12Z, y se obtienen hasta 96 horas simuladas. Con los resultados de las simulaciones MeteoGalicia realiza tareas continuadas de validación del modelo con los datos obtenidos de su amplia red de estaciones meteorológicas que garantiza la calidad de sus datos.

En el estudio “Assessment of Wind Pattern Accuracy from the QuikSCAT Satellite and the WRF Model along the Galician Coast” (Sousa et al. 2013), se compara el viento obtenido por el modelo WRF de MeteoGalicia con datos de satélite y de boyas. En el estudio se concluye que los datos del modelo WRF constituyen una herramienta consistente para obtener el viento representativo de la costa de Galicia ya que muestran buenos resultados al compararlos con observaciones.

1.2. El modelo WAsP

El programa WAsP ha sido diseñado para analizar una serie de datos de módulo y dirección del viento y crear un atlas de recurso eólico mediante el uso de modelos de apantallamiento, rugosidad y de topografía. Para ello se construye una serie de datos de “viento limpio”, o viento generalizado, eliminando de la serie los efectos causados por la rugosidad de terreno, la presencia de obstáculos cercanos o la topografía local. Las condiciones específicas de la región se resumen en unas “condiciones estándar”, es decir, se calculan los parámetros Weibull (A y k) para 4 condiciones de rugosidad del terreno (0.000 m, 0.030 m, 0.100 m, 0.400 m, 1.500 m), 5 alturas de referencia (10 m, 25 m, 50 m, 100 m, 200 m) y 12 sectores azimutales.

A partir del viento generalizado se calcula el viento climático en cualquier punto de una región definida realizando el cálculo inverso al utilizado para eliminar las condiciones locales. La energía total se puede calcular a partir del viento mediante la curva de potencia de un aerogenerador tipo.

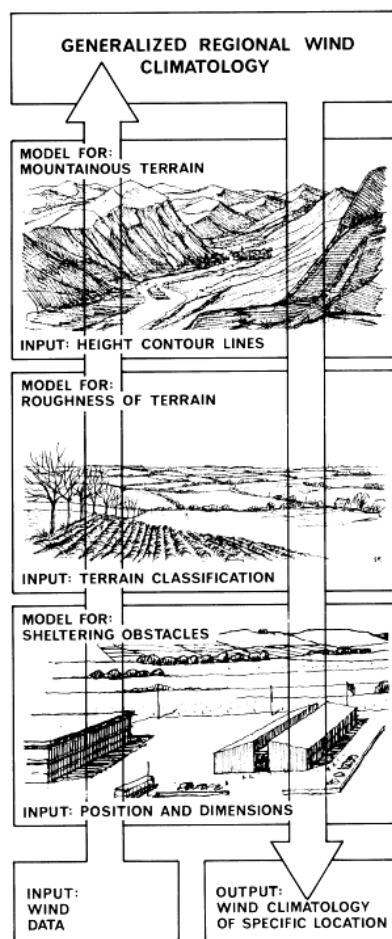


Figura 2: Esquema WAsP

La Figura 2 muestra el esquema de funcionamiento del modelo WAsP que se resume en dos procesos principales:

1. Generalización de la serie de datos de viento.
2. Extrapolación horizontal y vertical del viento generalizado a las condiciones de rugosidad, topografía y obstáculos locales.

Para obtener los mejores resultados se deben tener en cuenta los siguientes puntos:

- El punto de referencia, de donde se obtienen los datos de viento, y el área de estudio son tratados con el mismo régimen de vientos.
- Los datos del punto de referencia deben ser fiables, es decir, debe haber suficiente concordancia con la realidad.
- La serie de datos de viento debe ser representativa del clima de la región.

2. Metodología

Se combina el modelo WRF con el modelo WAsP sumándose así las ventajas del uso de un modelo meteorológico de meso-escala con la capacidad de predicción a micro-escala. El resultado de dicha combinación mejorará notablemente los resultados de una simple interpolación del modelo WRF.

En el siguiente esquema se resume el proceso completo (Figura 3)

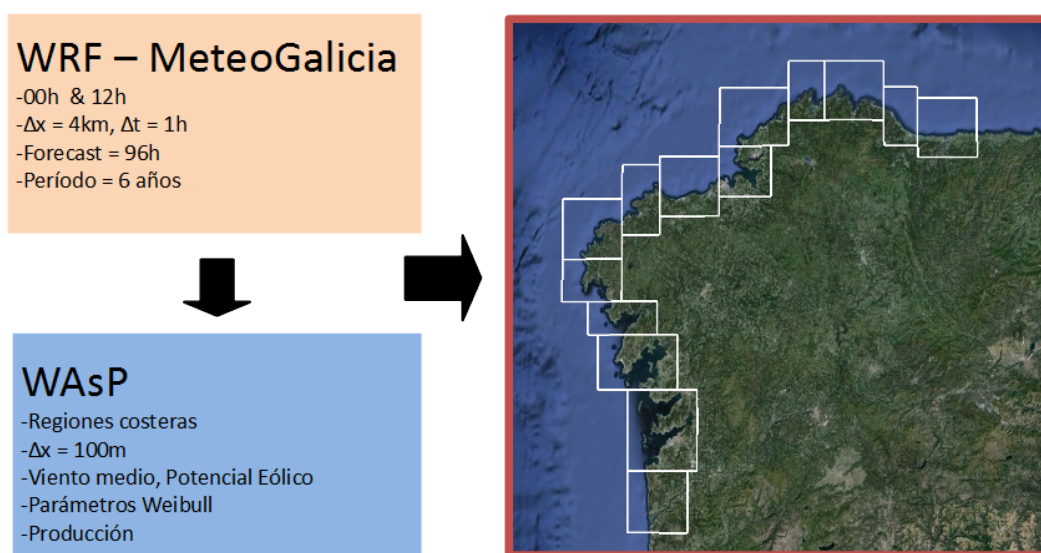
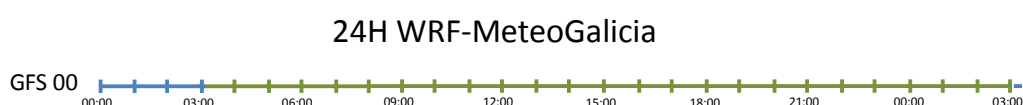


Figura 3: Esquema del proceso

2.1. Datos de WRF-MeteoGalicia

Se han seleccionado series de datos de 6 años completos, 2008-2013, correspondientes a las 24h simuladas a partir de las 03:00 horas del inicio de la ejecución del modelos WRF-MeteoGalicia de las 00Z.



Se inicia la serie de 24 horas a las 03:00 horas, y no a las 00:00 horas, debido a que el modelo WRF

necesita un mínimo de pasos de tiempo para generar su propio clima, evitando así los efectos de baja resolución de la inicialización.

2.2. Dominios WAsP

Se han definido 14 regiones, o dominios de WAsP, mostrados en la Figura 3 (derecha). Cada una de las regiones se corresponde con una climatología del viento similar, esto es, que puede ser representada por una serie de viento generalizado común. Las regiones se han adaptado a la forma de la costa para que contengan, de forma completa, las regiones delimitadas por los accidentes geográficos costeros más importantes.

2.3. Generalización del viento

El modelo WAsP define una distribución de viento generalizada para cada una de las 14 regiones acotadas a lo largo del litoral utilizando 6 años de datos de una de las celdas del modelo WRF contenida en cada región.

Cada dominio es “alimentado” por una única serie de observaciones, en este caso, datos de una única celda del modelo ubicada en el interior de la región. Para la selección del punto de observaciones se han tenido en cuenta los siguientes factores:

- Los datos del modelo son calculados a una resolución de 4km, así que tanto la topografía como la rugosidad son distintas a las predeterminadas por WAsP.
- El modelo WAsP por defecto está diseñado para asimilar observaciones de estaciones meteorológicas, afectadas por entornos reales.
- Los efectos de topografía y rugosidad se minimizan en el mar cuanto mayor sea la distancia a la costa.
- Los efectos de la rugosidad se reducen a mayores alturas de toma de datos.

En el proyecto se han seleccionado puntos de malla ubicados en el mar, hacia el centro del dominio y separados significativamente de la costa, y el nivel vertical del modelo WRF se corresponde con la altura sobre el nivel del mar de 101 metros. Se ha utilizado esta altura con el objetivo de que los efectos de la topografía y la rugosidad sean mínimos, y con ello, se minimizen los errores debidos a las diferencias en la resolución entre WAsP y WRF.

En la Figura 4 se muestra la distribución de los datos mediante la rosa de los vientos, el histograma y el ajuste Weibull. En la Figura 5, la rosa de los vientos muestra la ubicación de la celda del modelo WRF-MeteoGalicia seleccionada como punto de observaciones para el dominio llamado “Arteixo” en WAsP y las frecuencias del viento en dicha ubicación.

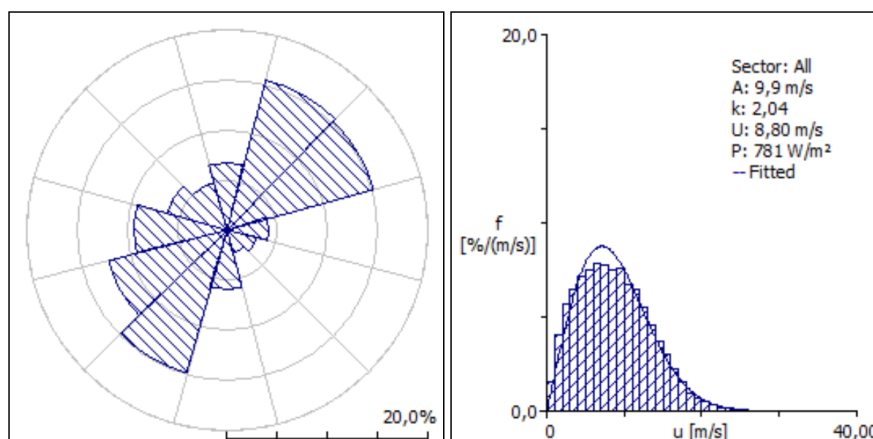


Figura 4: Rosa de los vientos, histograma y ajuste Weibull en Arteixo

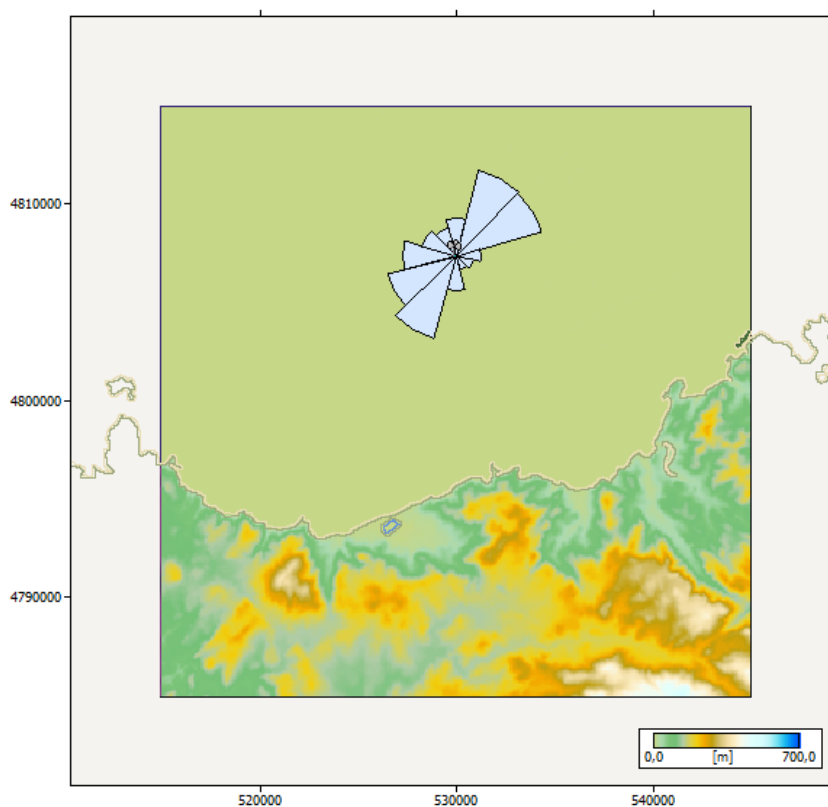


Figura 5: Punto de toma de datos del modelo WRF-MeteoGalicia

2.4. Configuración del modelo WAsP

Los elementos necesarios para la realizar las simulaciones con WAsP se enumeran a continuación (Figura 6:

1. El paquete de programas que acompañan a WAsP nos facilita la transformación de la base de datos de topografía del SRTM en mapas con curvas de nivel cada 10 metros con el que se genera el mapa de topografía y la rugosidad para cada región.

2. Se debe definir una distribución de viento climático generalizado que, como ya hemos comentado, se extrae de las series de WRF-MeteoGalicia.
3. Se configuran 7 casos de simulación para cada región, uno por cada altura a la que queremos calcular el recurso eólico.
4. Se incluye un modelo de aerogenerador 'offshore' tipo para que el modelo calcule la energía producida al año en cada punto del dominio. El aerogenerador tiene una altura de buje de 80m por lo que la producción se calcula para el dominio definido a dicha altura.

La Figura 6 muestra un esquema de los componentes que constituyen un 'workspace' en WAsP.

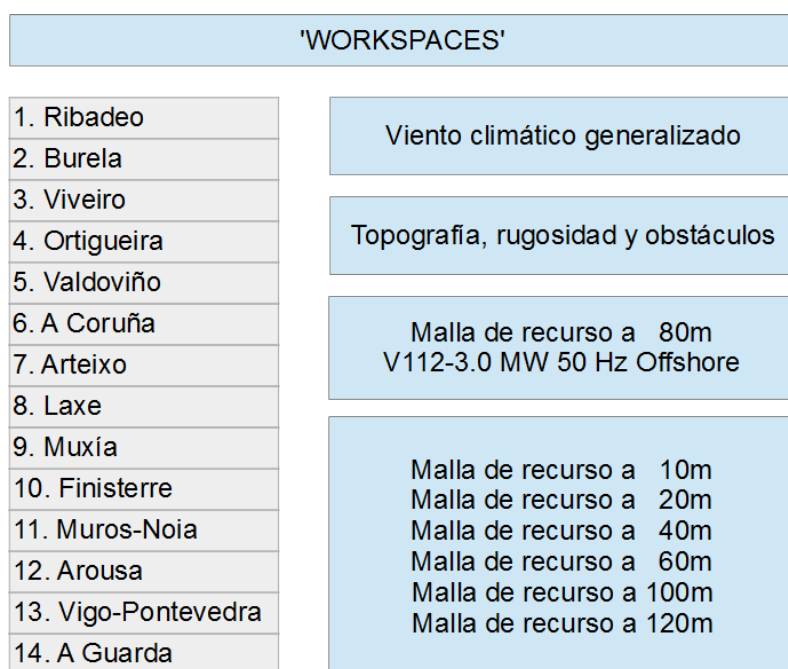


Figura 6: Esquema de configuración WAsP

El modelo de aerogenerador seleccionado para el cálculo de la AEP, "Annual Energy Production", es el 'V112-3.0 MW 50Hz' de Vestas. Se trata de un aerogenerador de 3.0MW de potencia con una altura de buje de 80 metros diseñado para Offshore (Figura 7).

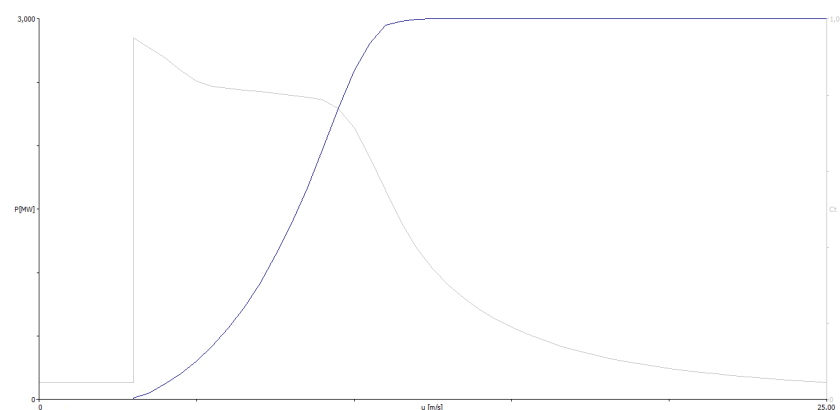


Figura 7: Curva de potencia y coeficiente de tracción para el aerogenerador 'V112-3.0 MW 50Hz'

3. Resultados

A continuación se muestra como ejemplo los resultados obtenidos en la velocidad de viento media anual de la región de Arteixo, Figura 8 para los niveles verticales. Además, se incluye una representación de las variables de velocidad de viento medio anual, densidad de potencia y de producción de energía media anual para el conjunto de las regiones en estudio al nivel de 80m (Figuras 9 - 11).

En el Anexo I se puede ver un amplio conjunto de representaciones de los resultados para todas áreas. En el anexo II se muestra una validación de los resultados comparando los datos estimados por el modelo WasP con las estaciones de MeteoGalicia.

3.1. Niveles verticales

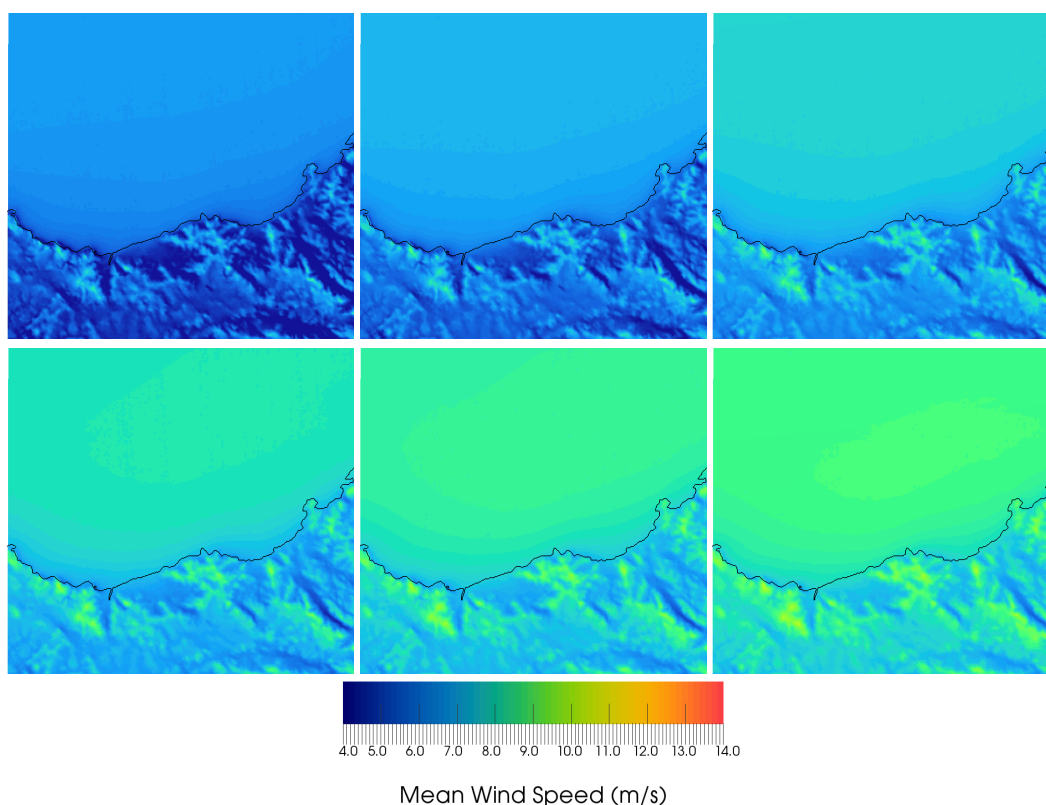


Figura 8: Niveles verticales en la región de Arteixo

3.2. Velocidad media anual

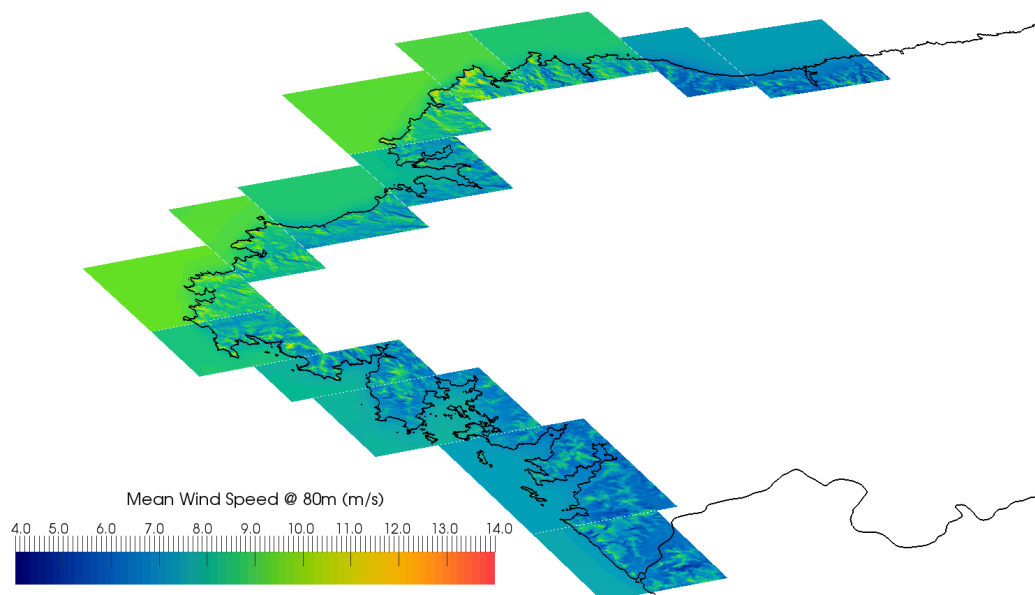


Figura 9: Velocidad media del viento a 80m de altura

3.3. Densidad de potencia

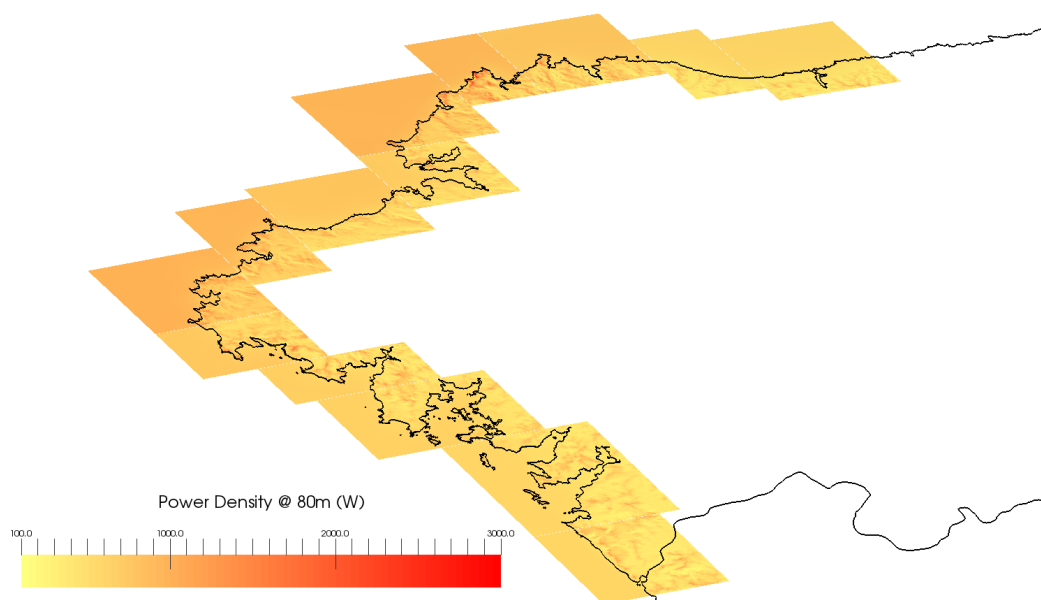


Figura 10: Densidad de potencia a 80m de altura

3.4. Producción media anual de energía

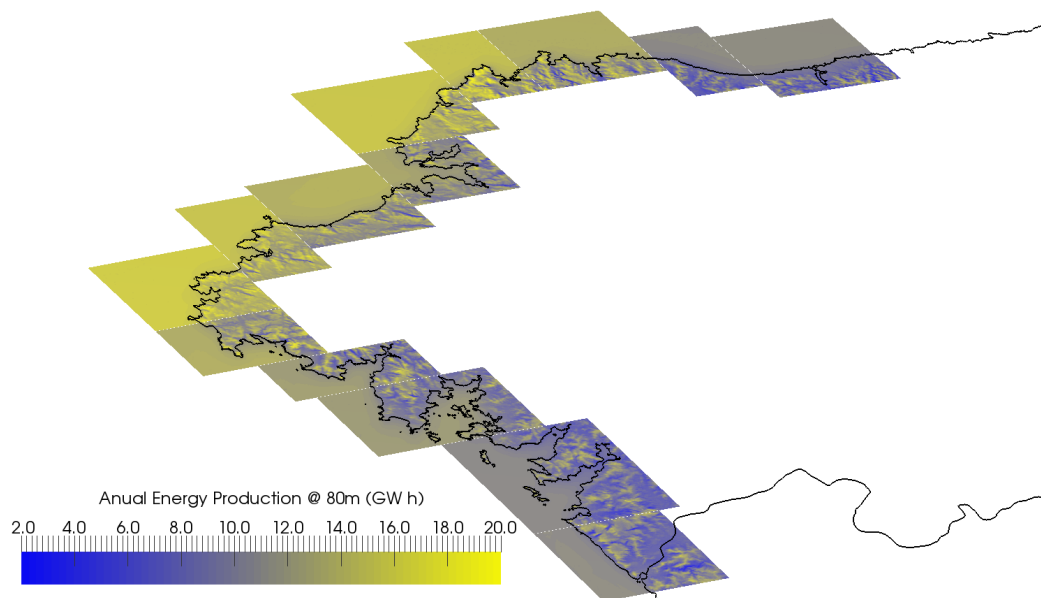


Figura 11: Producción de energía anual a 80m de altura para el aerogenerador 'V112-3.0 MW 50Hz' de Vestas

A. Anexo I: Recurso eólico costero en Galicia

Las representaciones gráficas recogidas en este documento para cada una de las regiones costeras son las siguientes (Figura 12):

- Velocidad media anual a 10m, 20m, 40m, 60m, 80m, 100m y 120m.
- Densidad de potencia media anual a 10m, 20m, 40m, 60m, 80m, 100m y 120m.
- Producción de energía media anual a 80m.

En la última sección se detallan las características del conjunto de archivos en formato netCDF que contienen todas las variables calculadas en el proyecto.

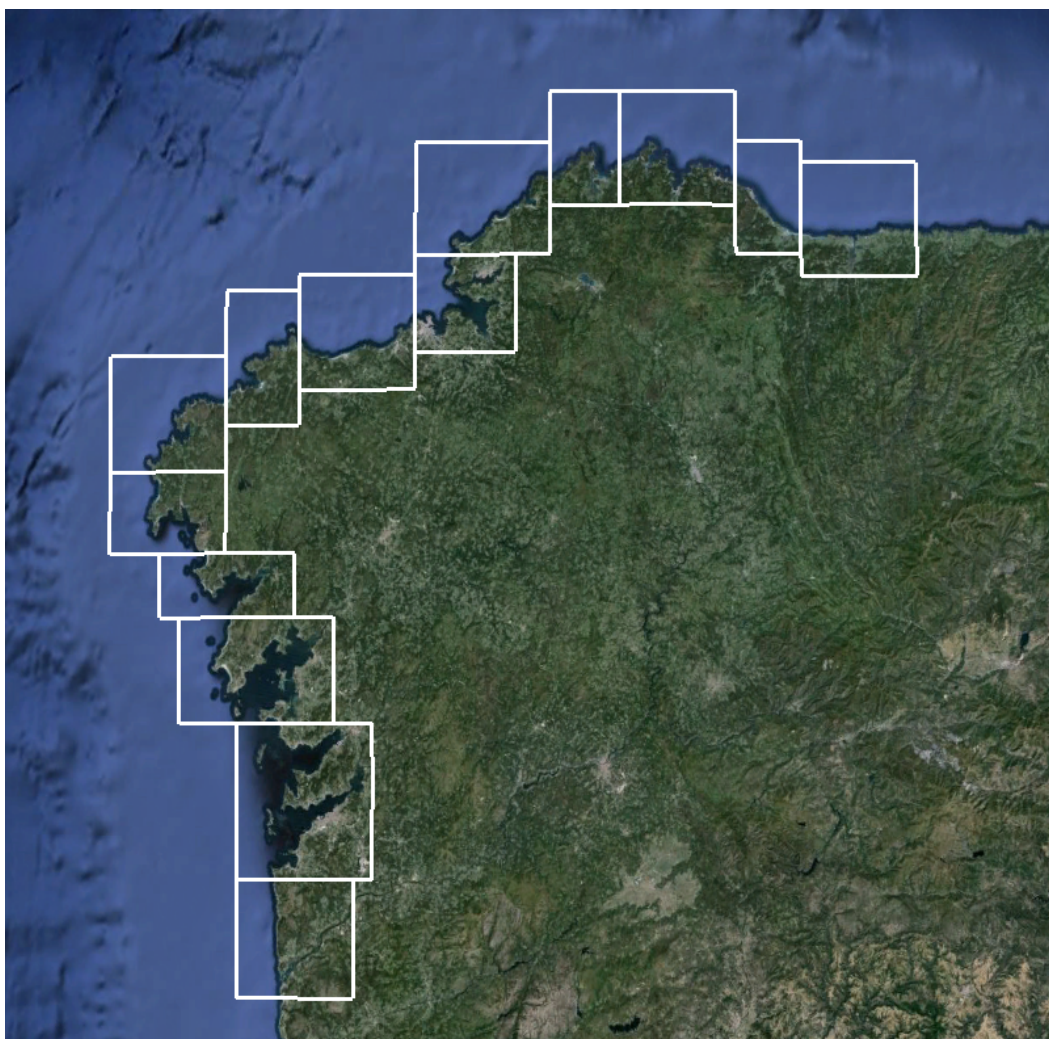
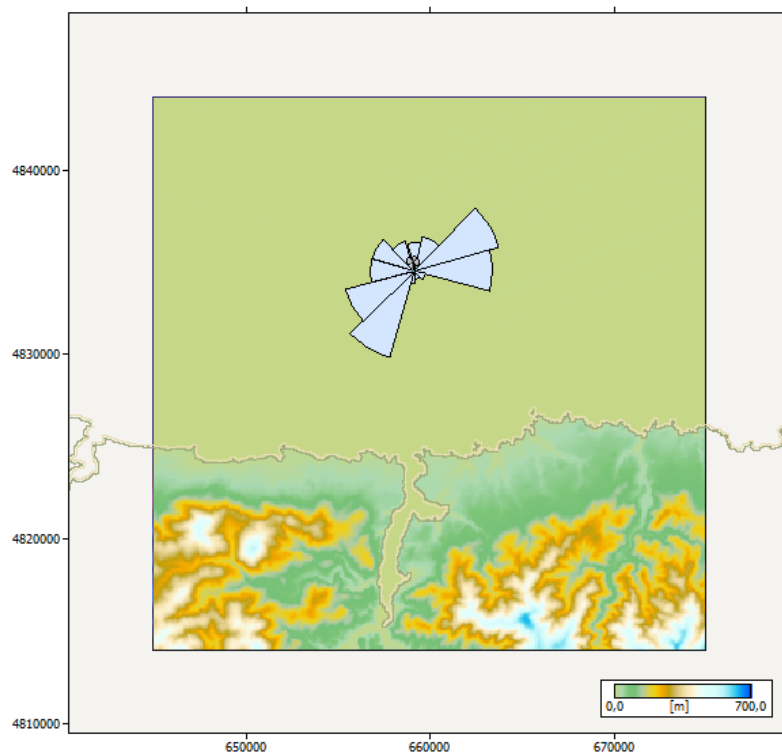


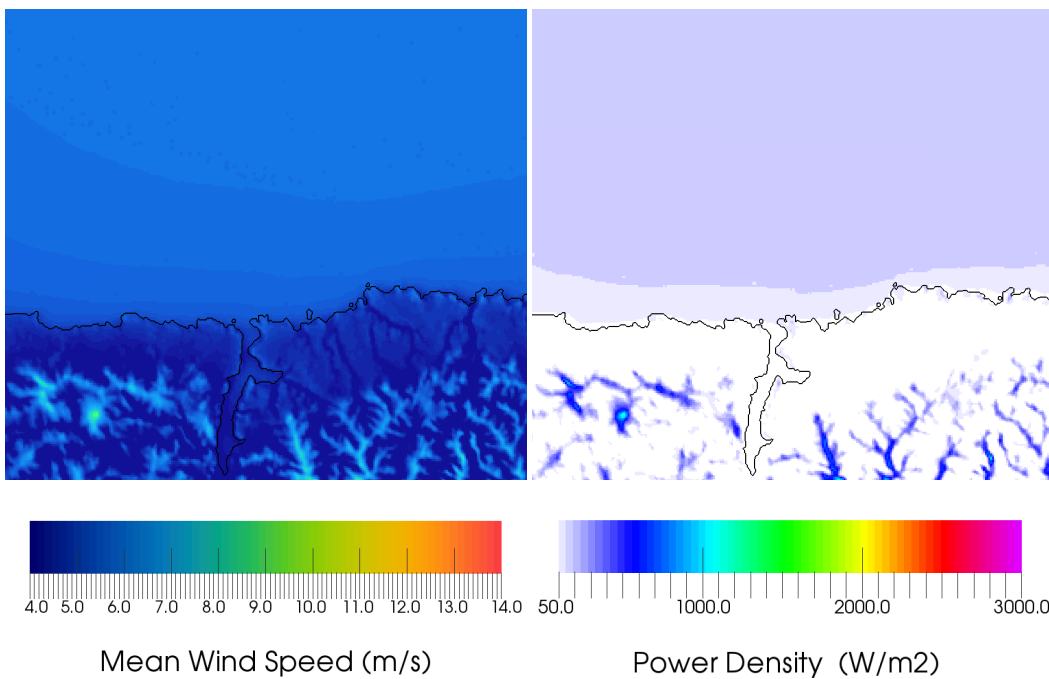
Figura 12: Regiones costeras

A.1. Ribadeo

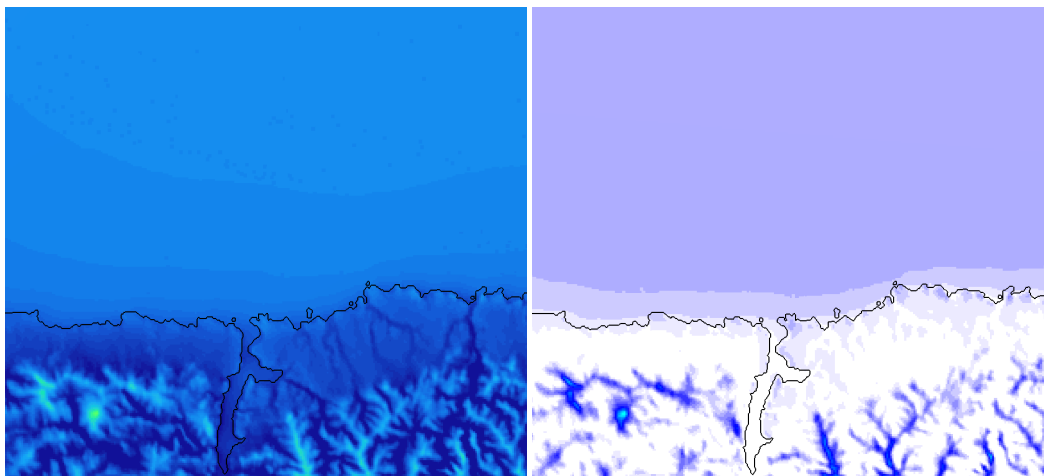


A.1.1. Velocidad media anual y densidad de potencia

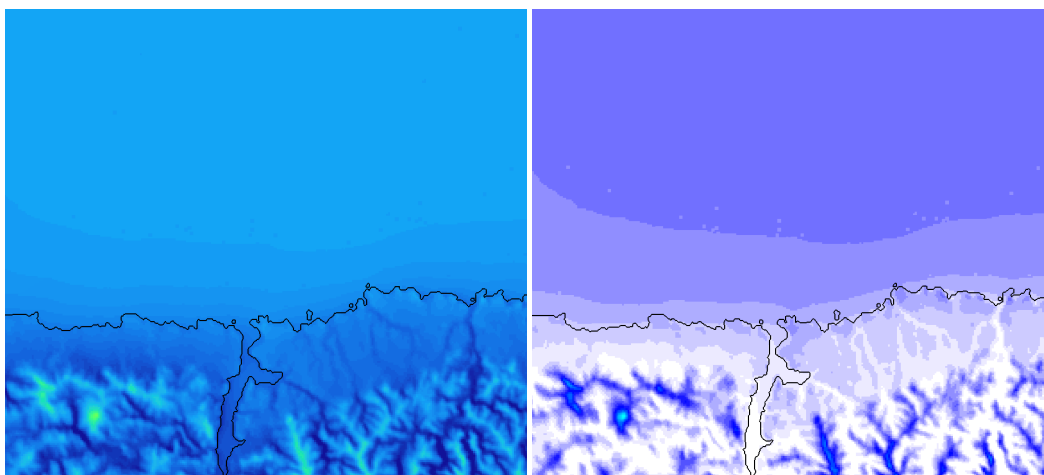
Altura = 10m



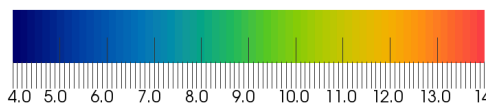
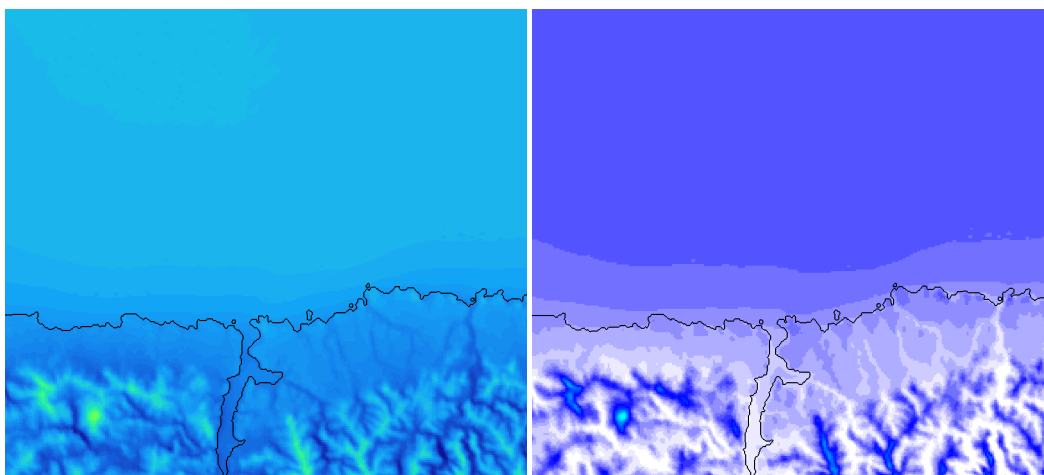
Altura = 20m



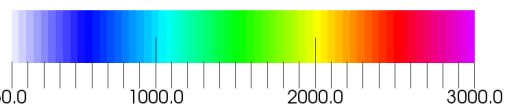
Altura = 40m



Altura = 60m

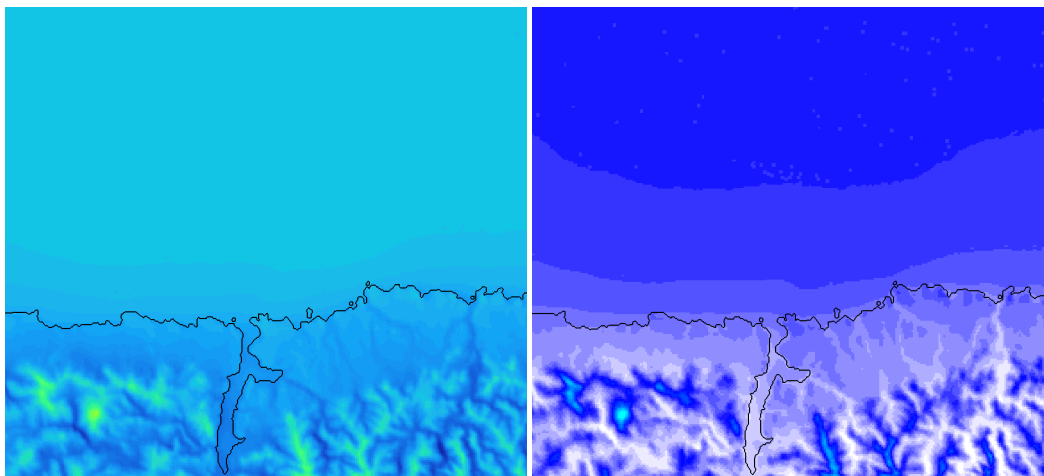


Mean Wind Speed (m/s)

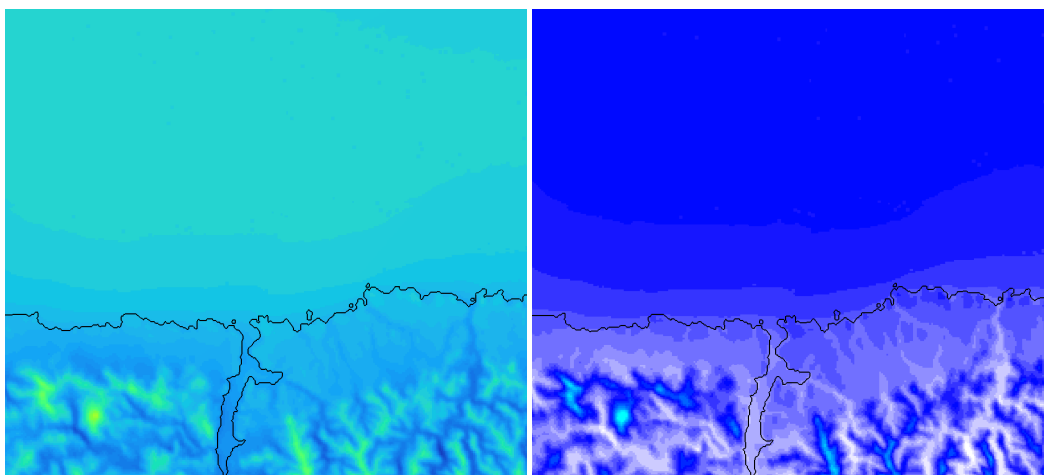


Power Density (W/m²)

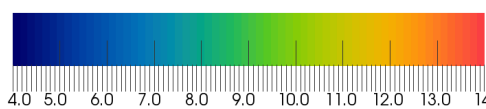
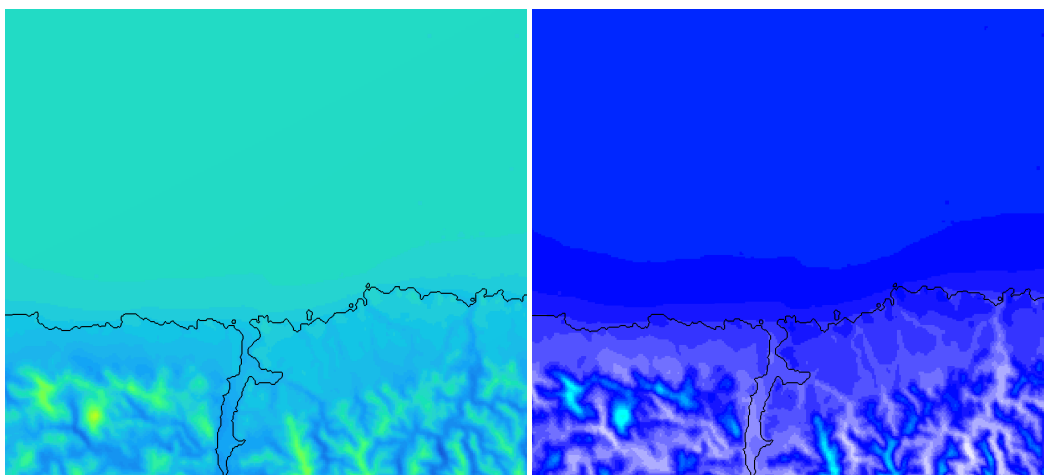
Altura = 80m



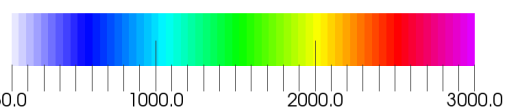
Altura = 100m



Altura = 120m

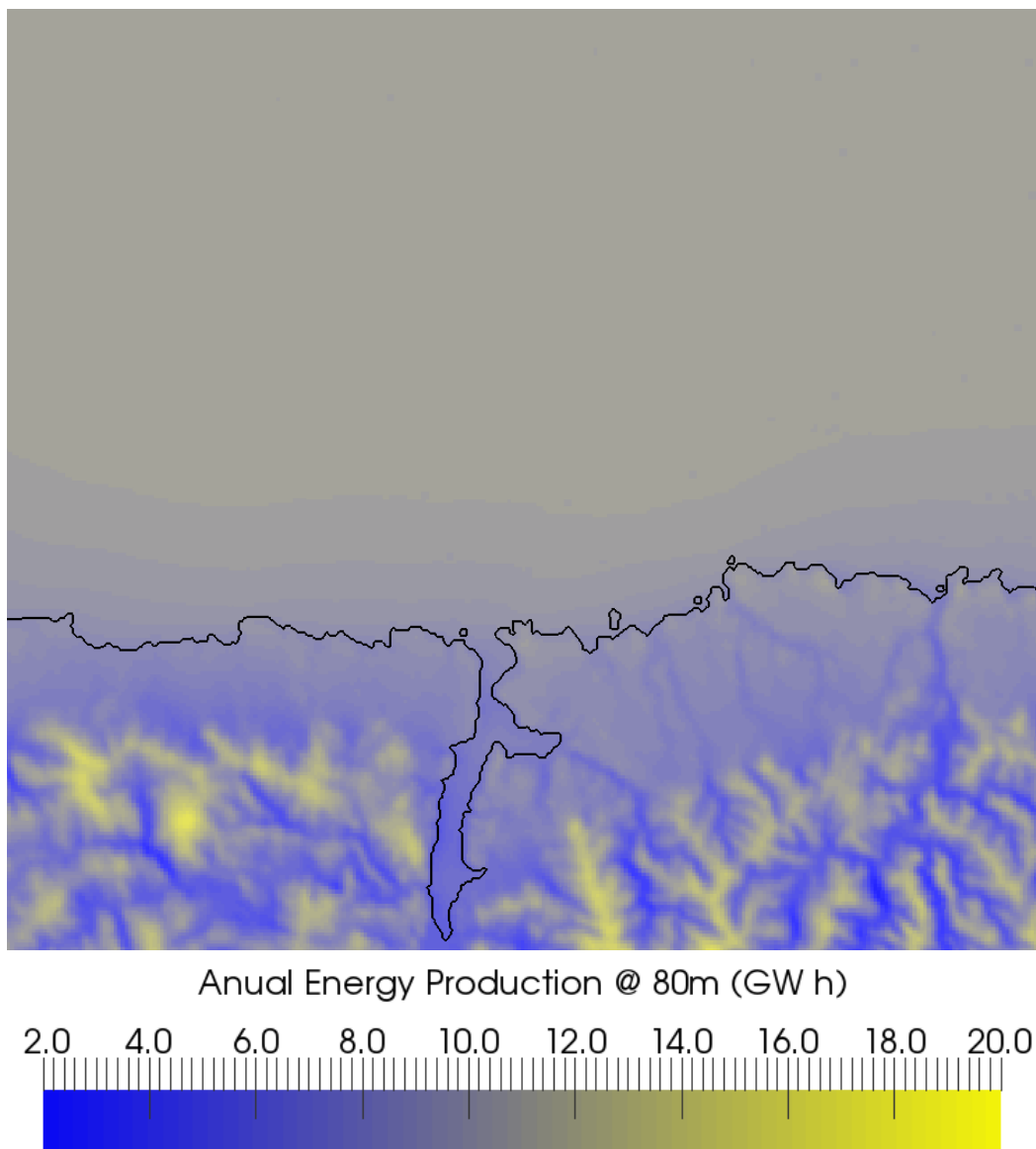


Mean Wind Speed (m/s)

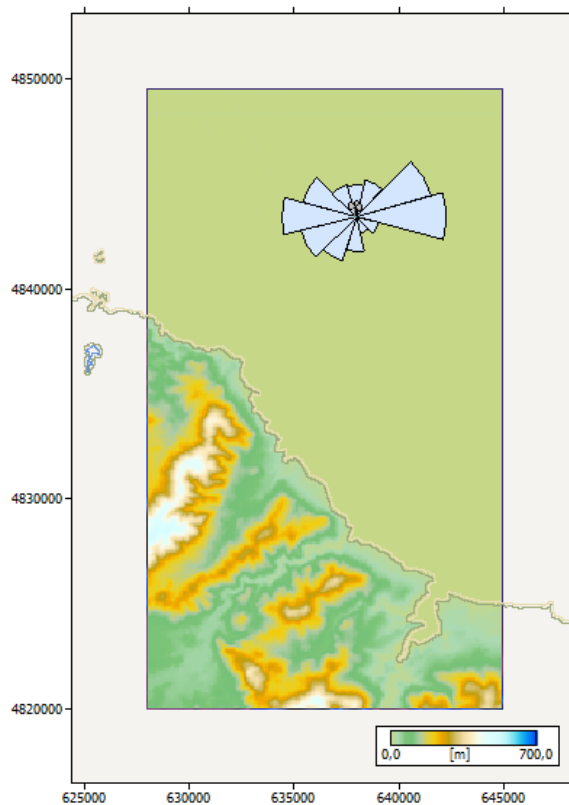


Power Density (W/m2)

A.1.2. Producción media anual de energía

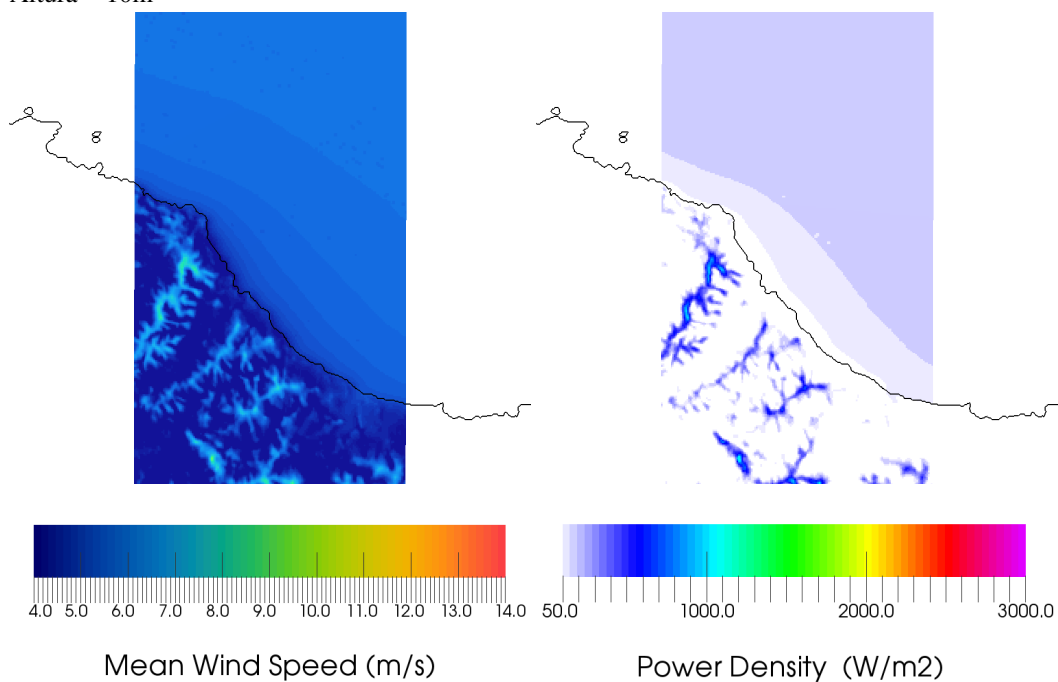


A.2. Burela

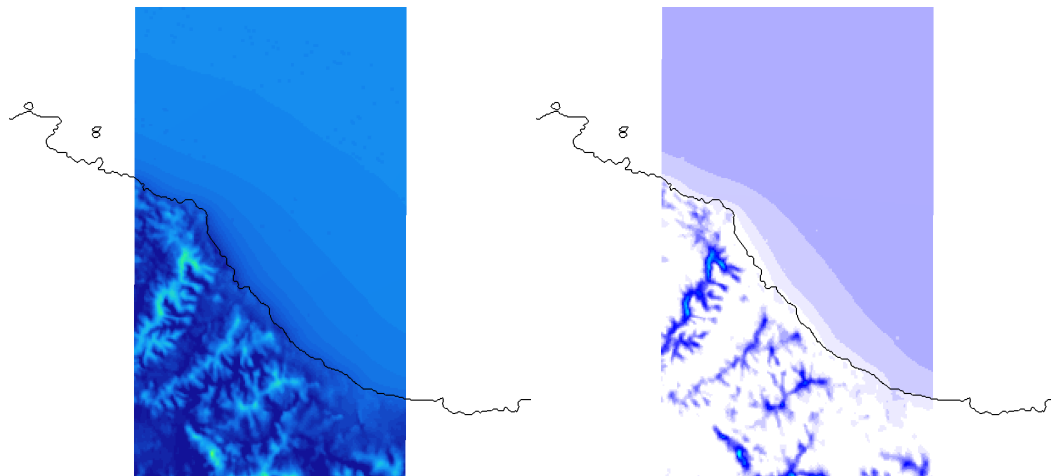


A.2.1. Velocidad media anual y densidad de potencia

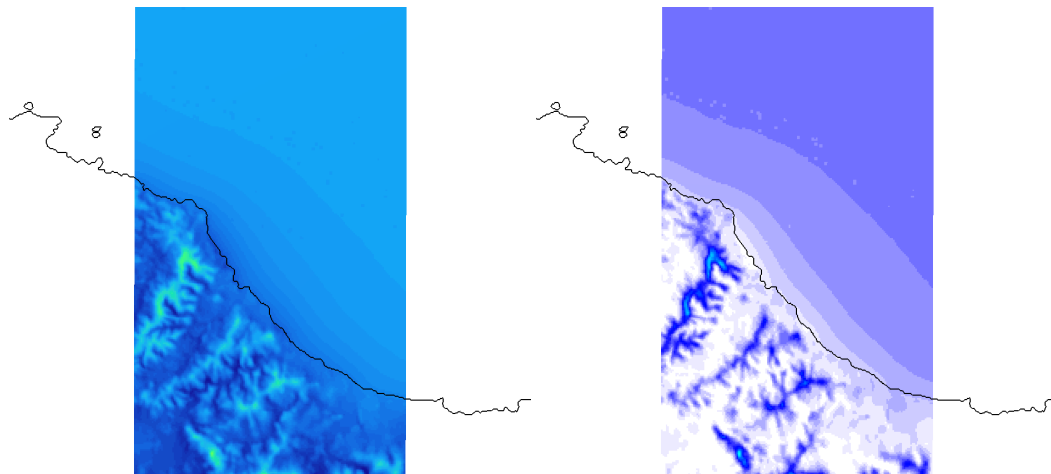
Altura = 10m



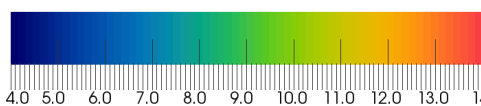
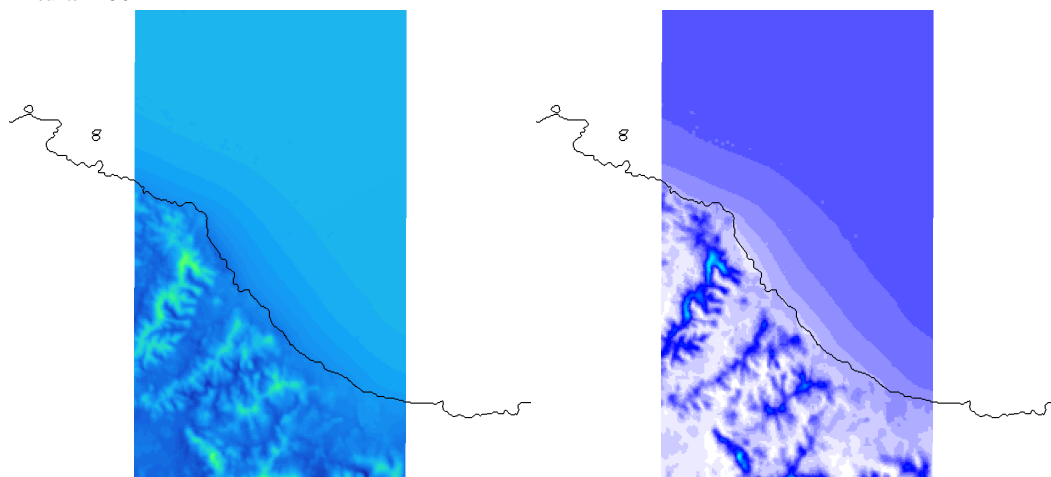
Altura = 20m



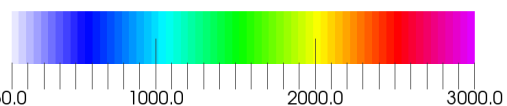
Altura = 40m



Altura = 60m

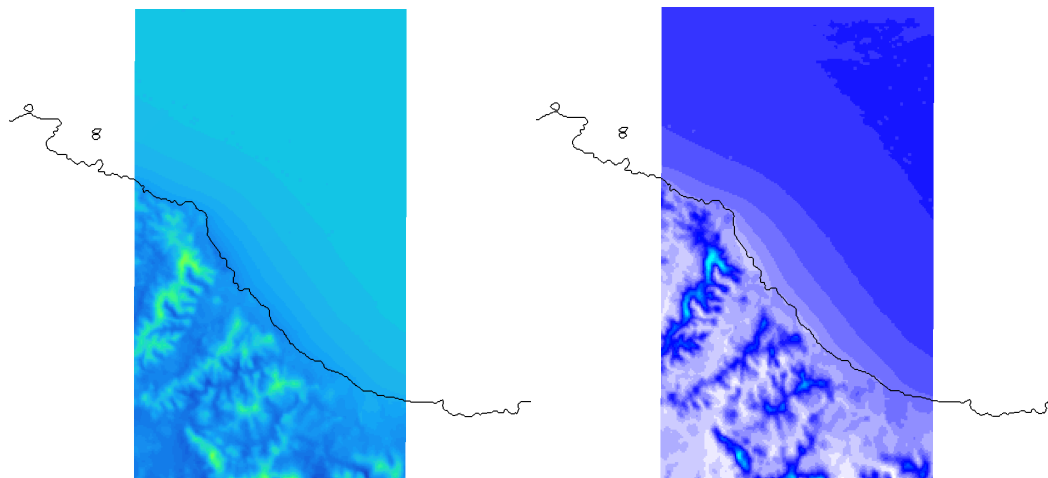


Mean Wind Speed (m/s)

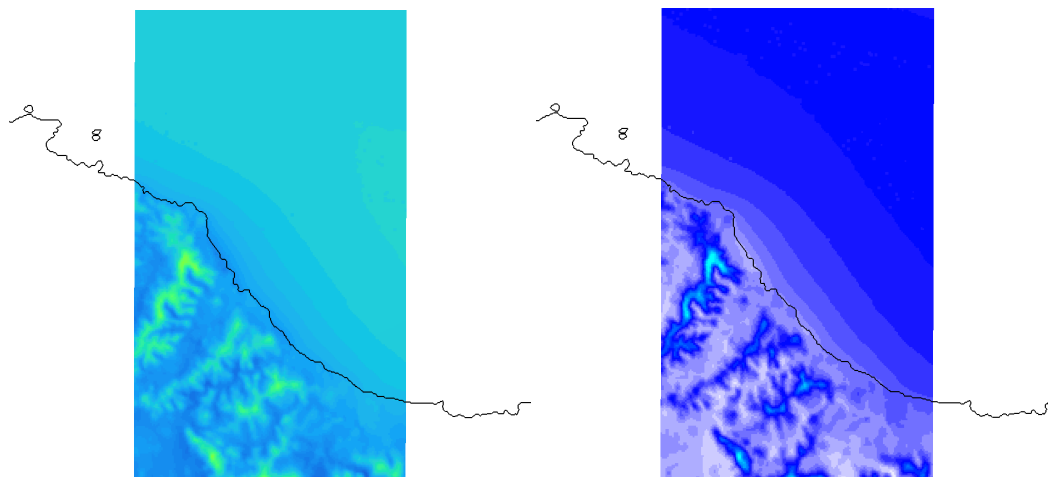


Power Density (W/m²)

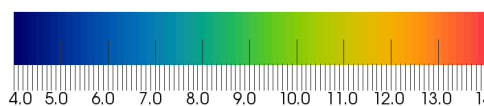
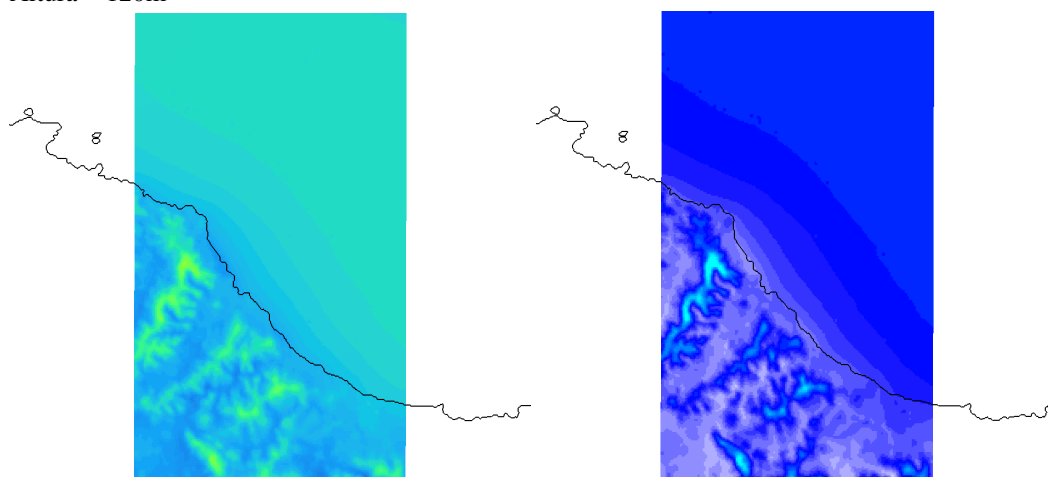
Altura = 80m



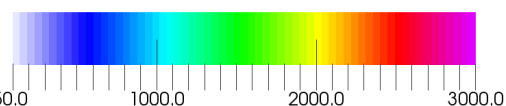
Altura = 100m



Altura = 120m

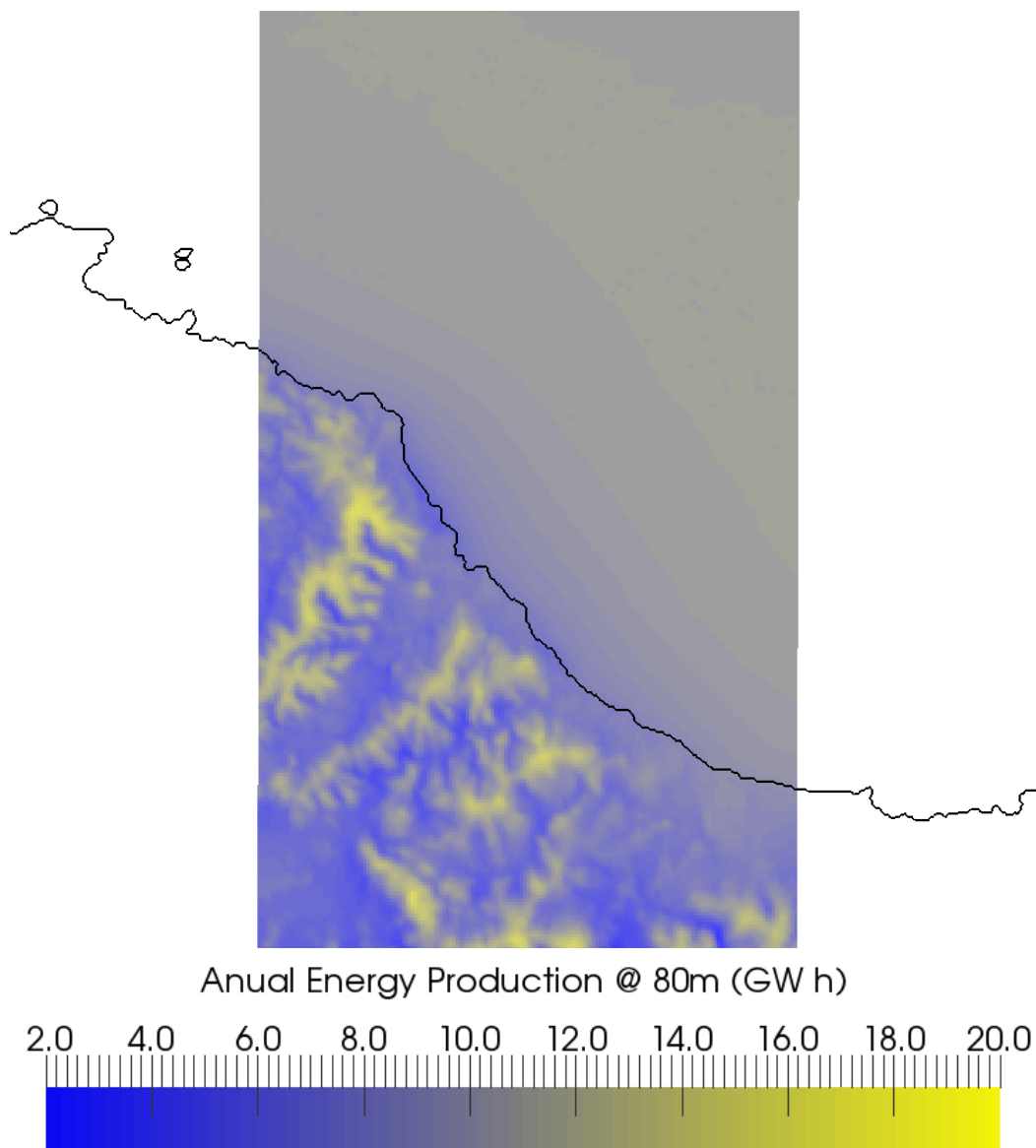


Mean Wind Speed (m/s)

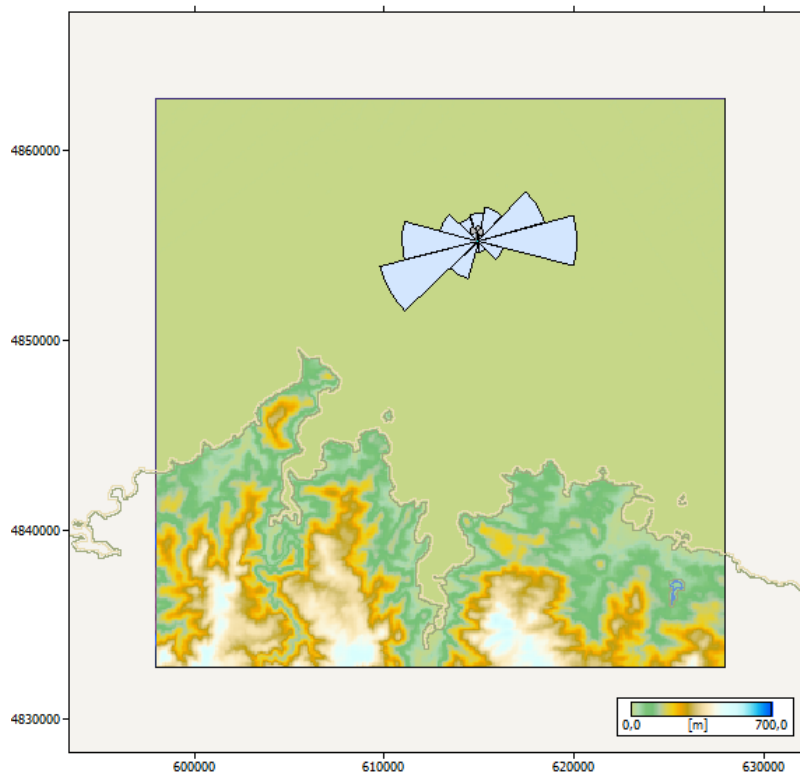


Power Density (W/m²)

A.2.2. Producción media anual de energía

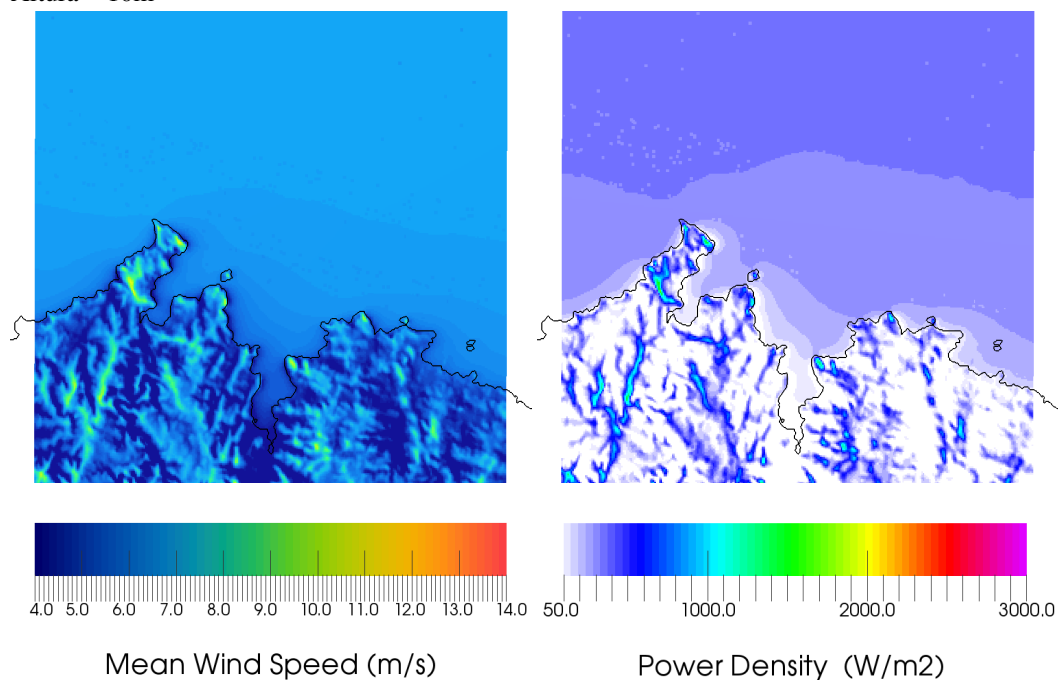


A.3. Viveiro

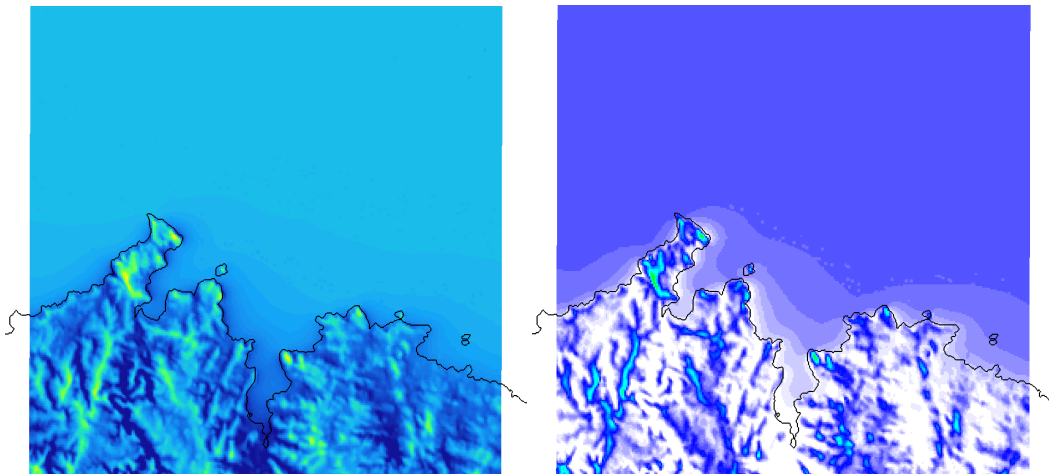


A.3.1. Velocidad media anual y densidad de potencia

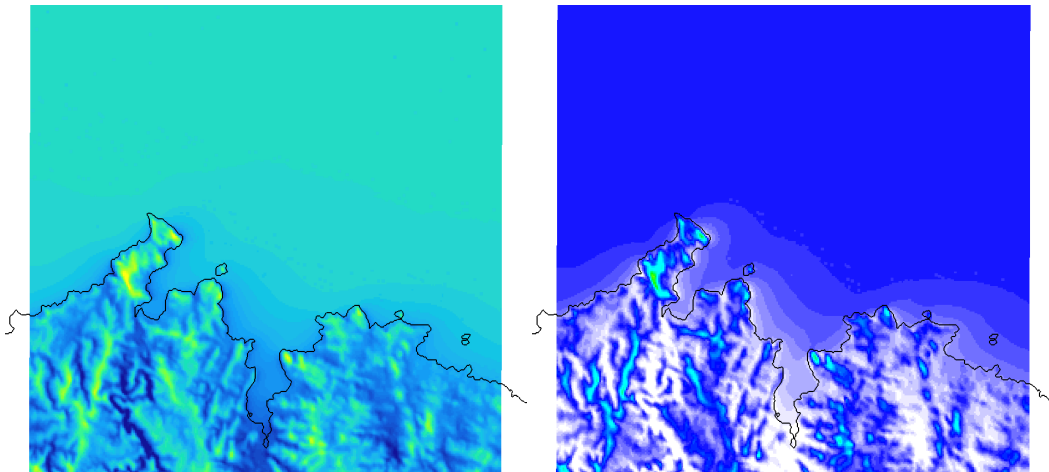
Altura = 10m



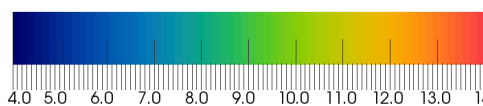
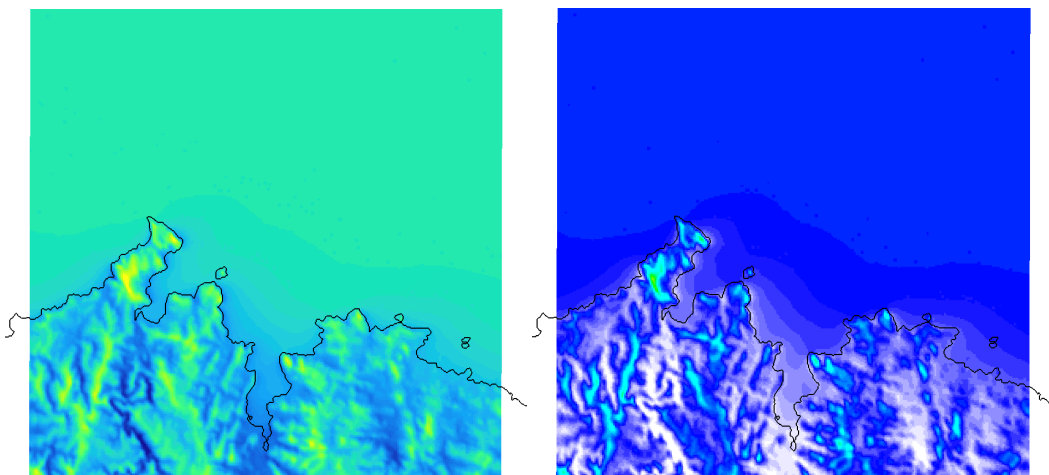
Altura = 20m



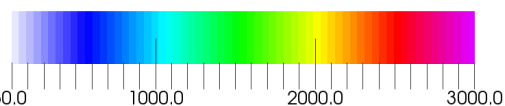
Altura = 40m



Altura = 60m

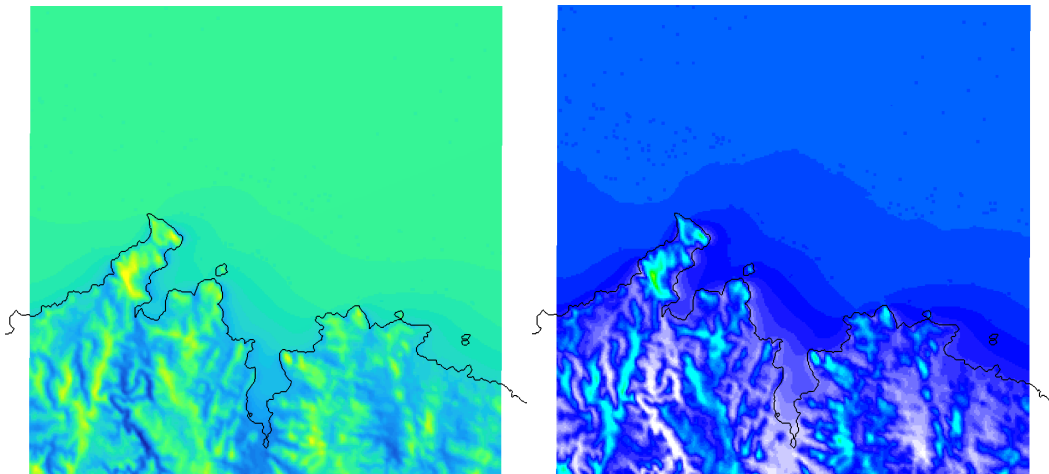


Mean Wind Speed (m/s)

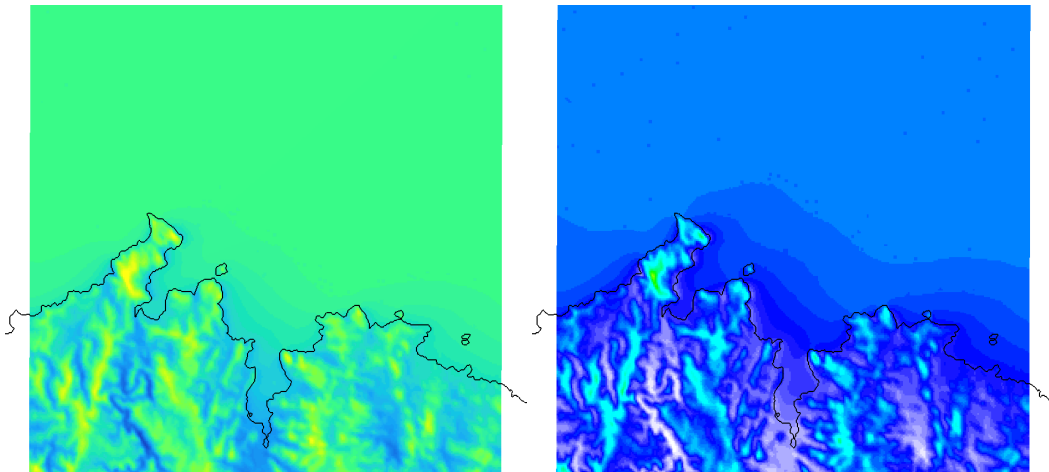


Power Density (W/m²)

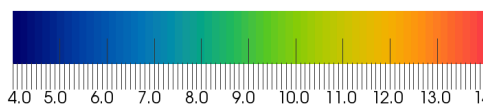
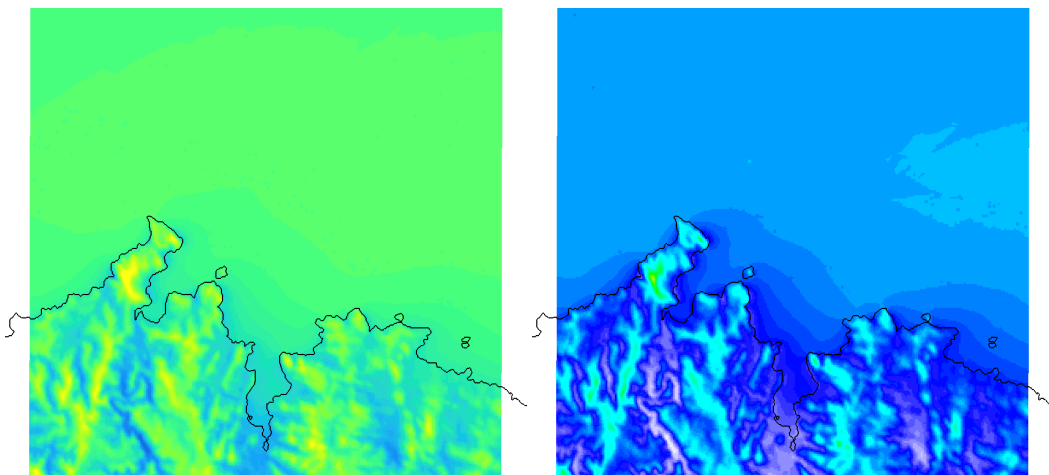
Altura = 80m



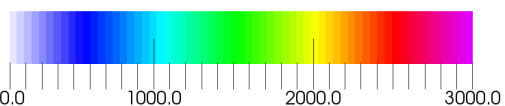
Altura = 100m



Altura = 120m

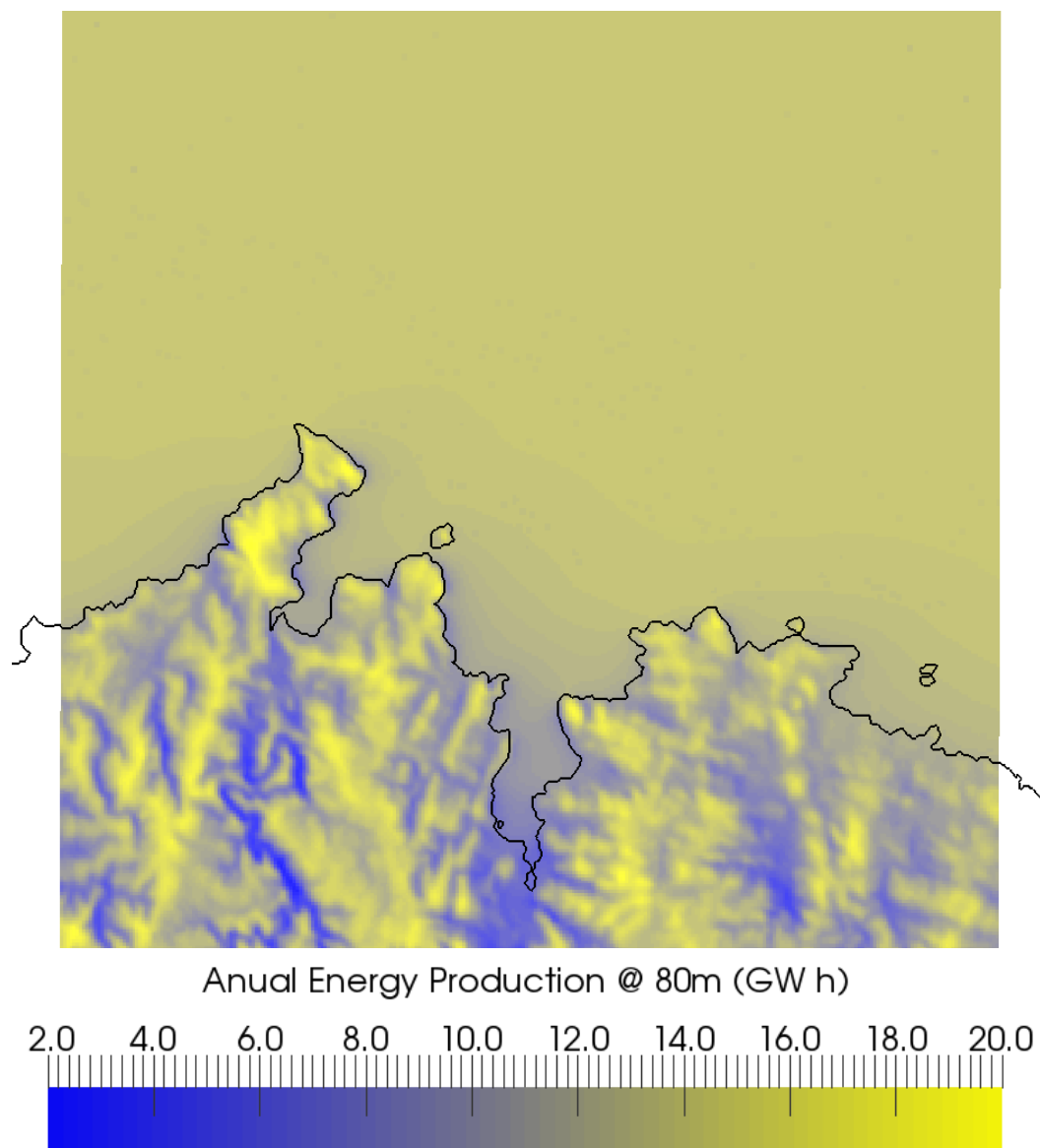


Mean Wind Speed (m/s)

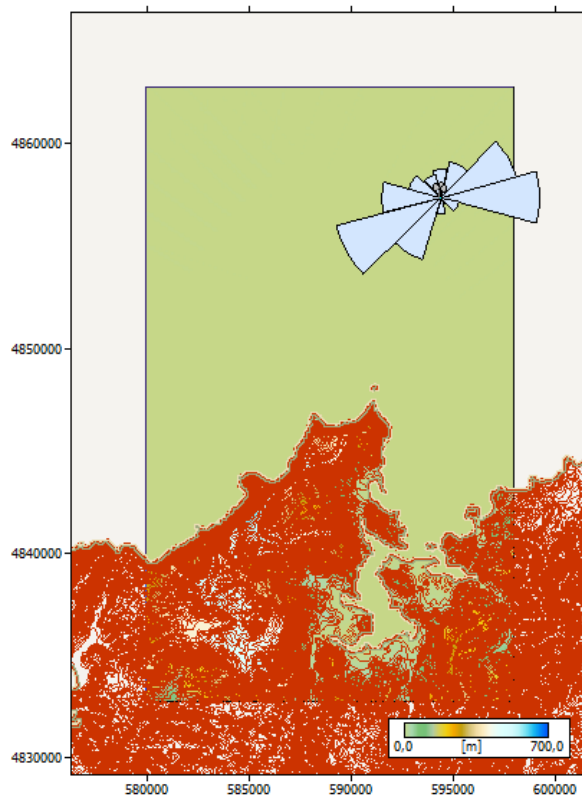


Power Density (W/m²)

A.3.2. Producción media anual de energía

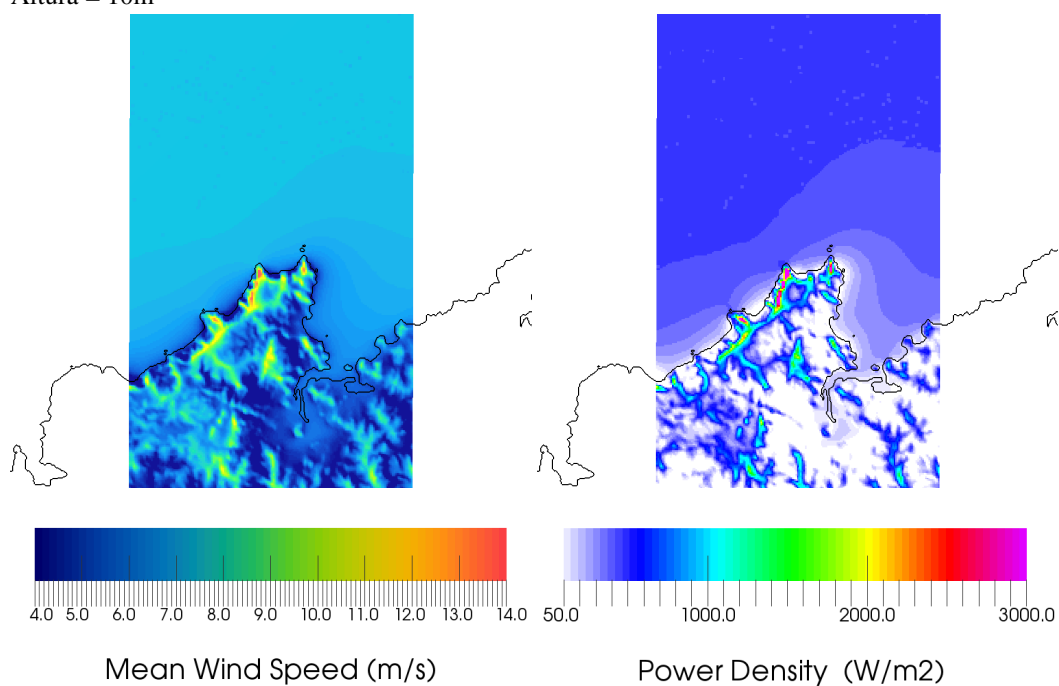


A.4. Ortigueira

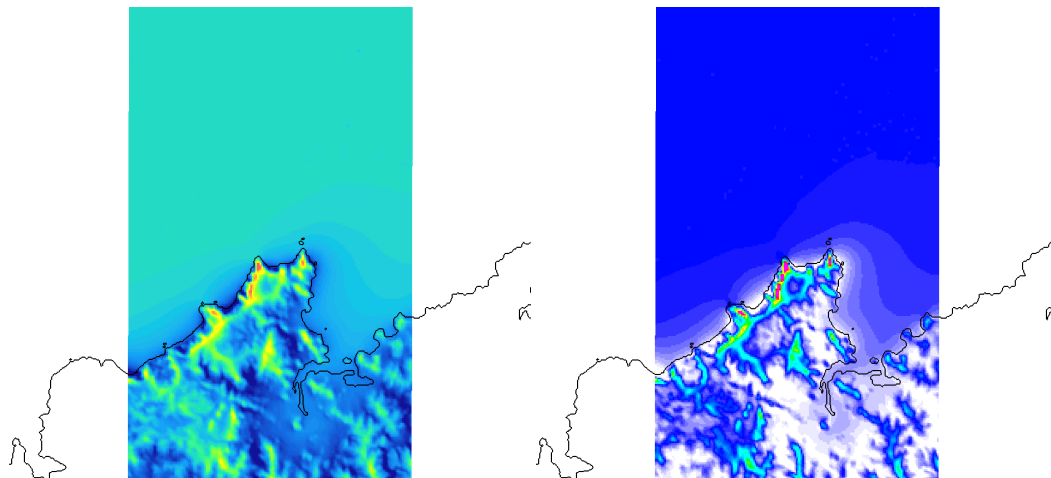


A.4.1. Velocidad media anual y densidad de potencia

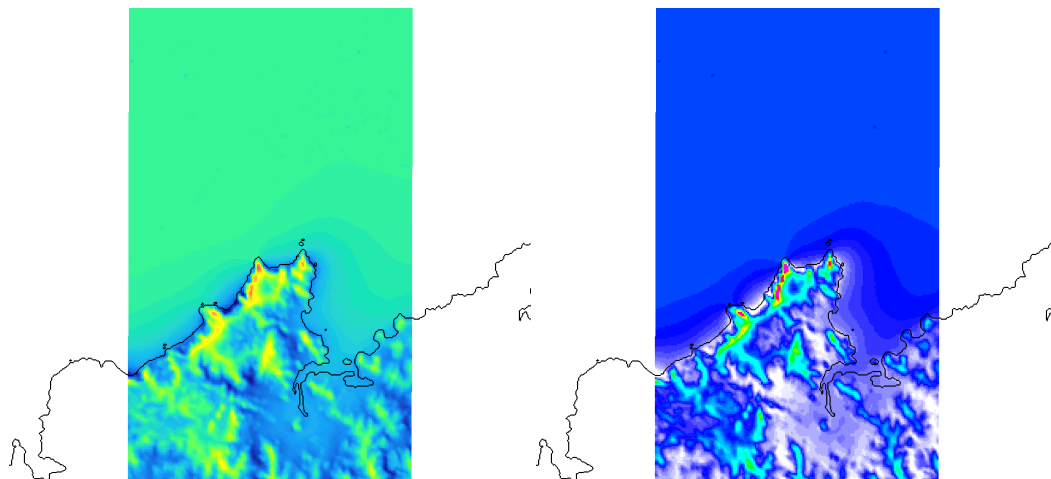
Altura = 10m



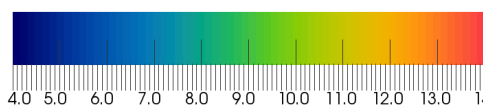
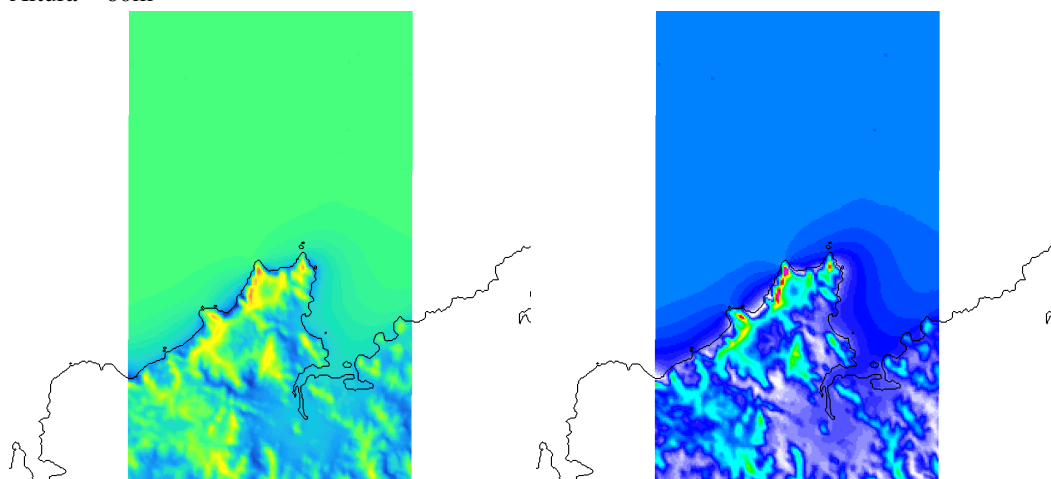
Altura = 20m



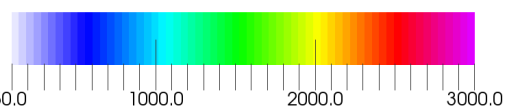
Altura = 40m



Altura = 60m

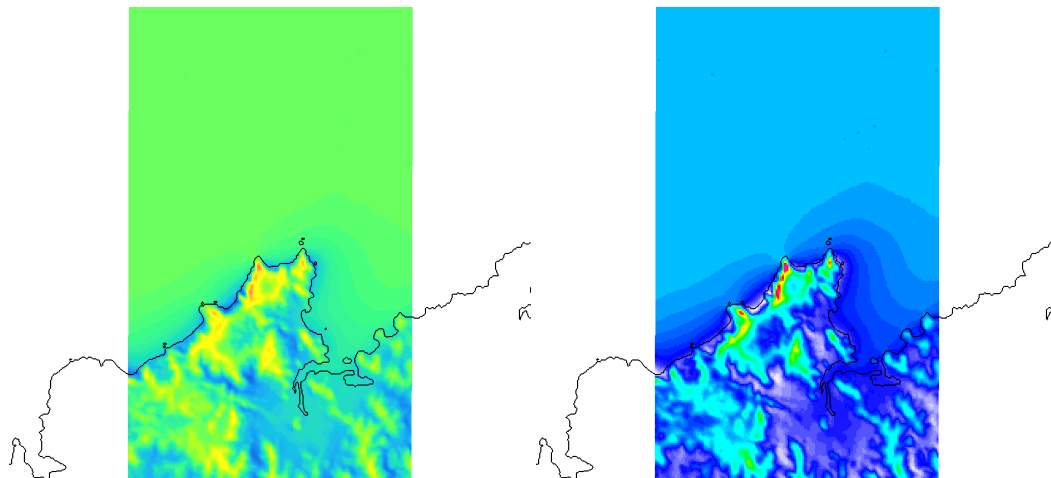


Mean Wind Speed (m/s)

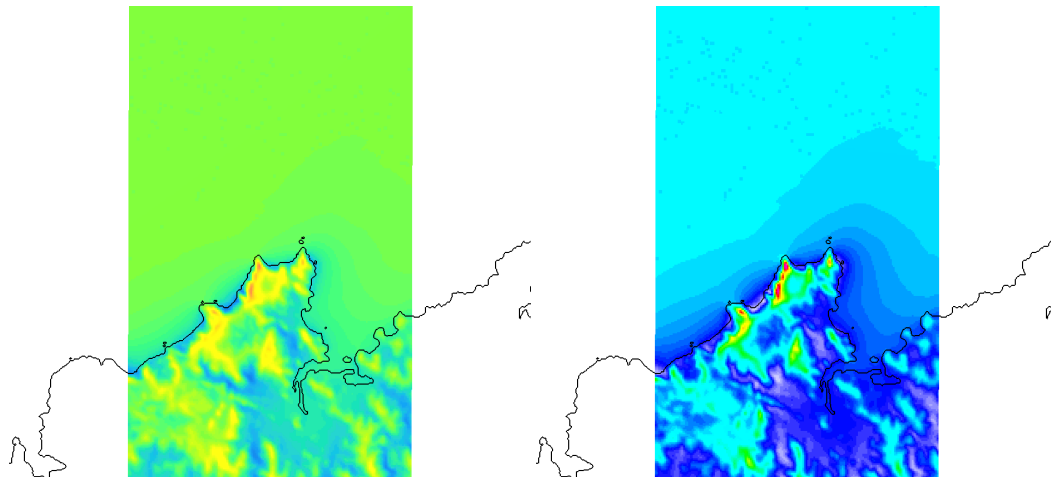


Power Density (W/m²)

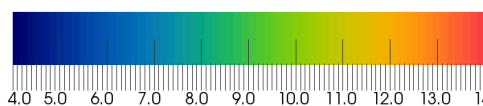
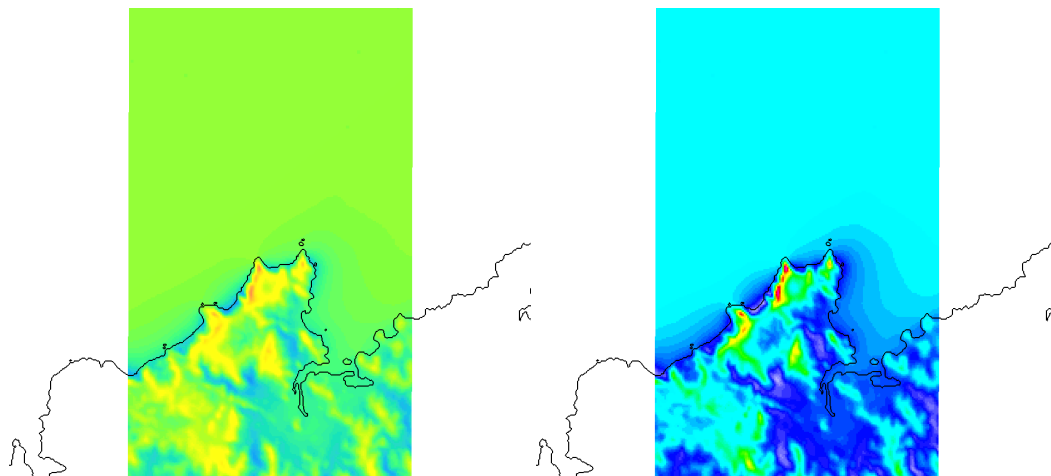
Altura = 80m



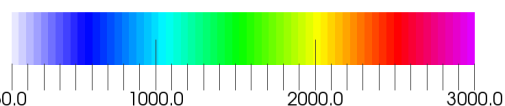
Altura = 100m



Altura = 120m

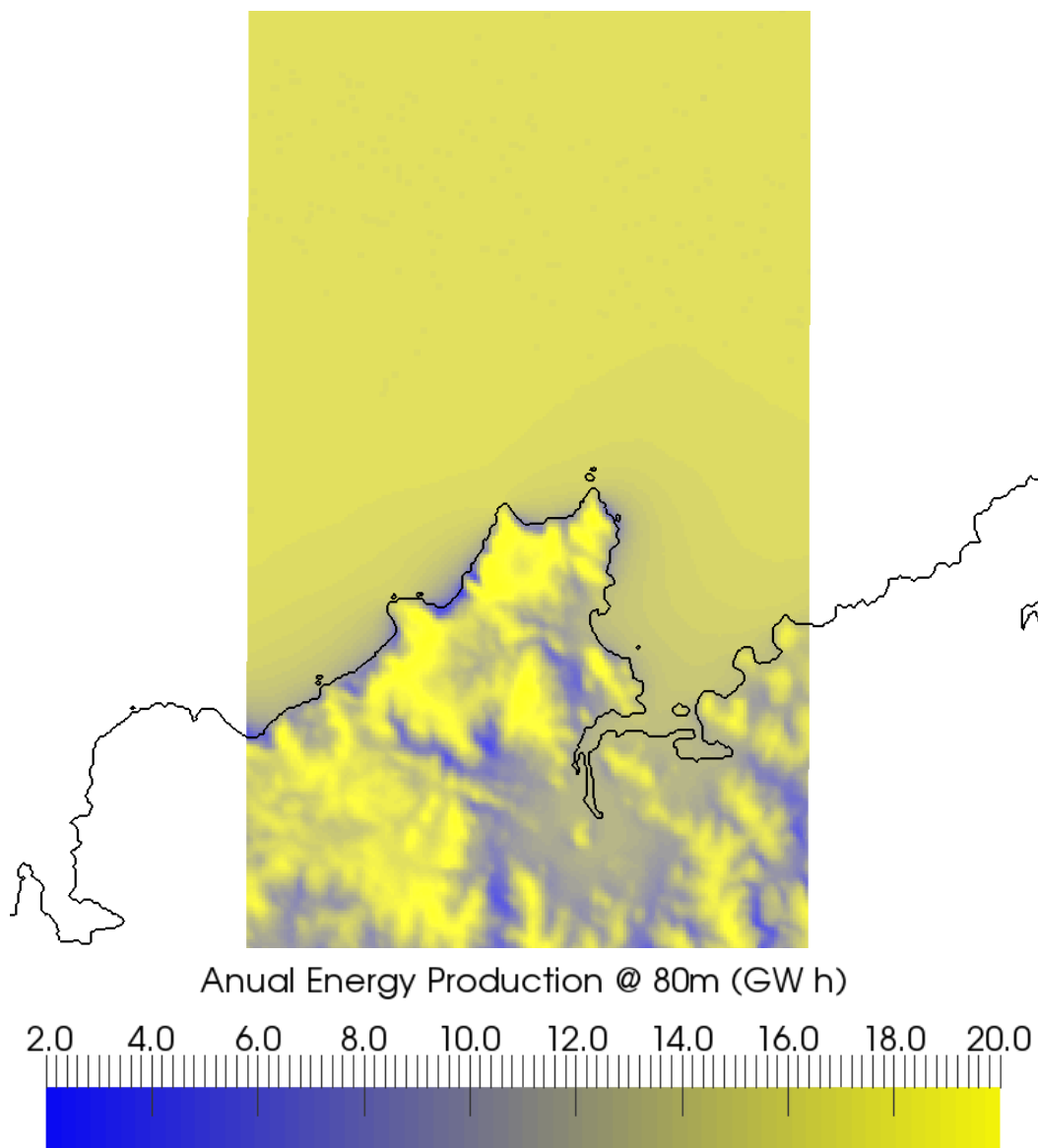


Mean Wind Speed (m/s)

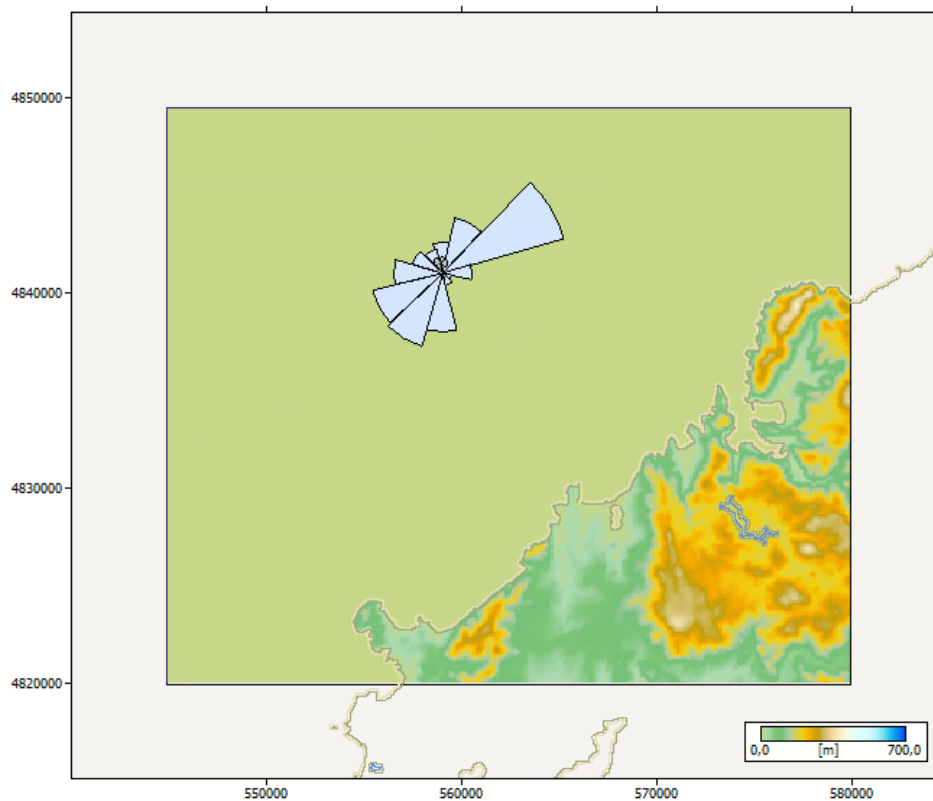


Power Density (W/m2)

A.4.2. Producción media anual de energía

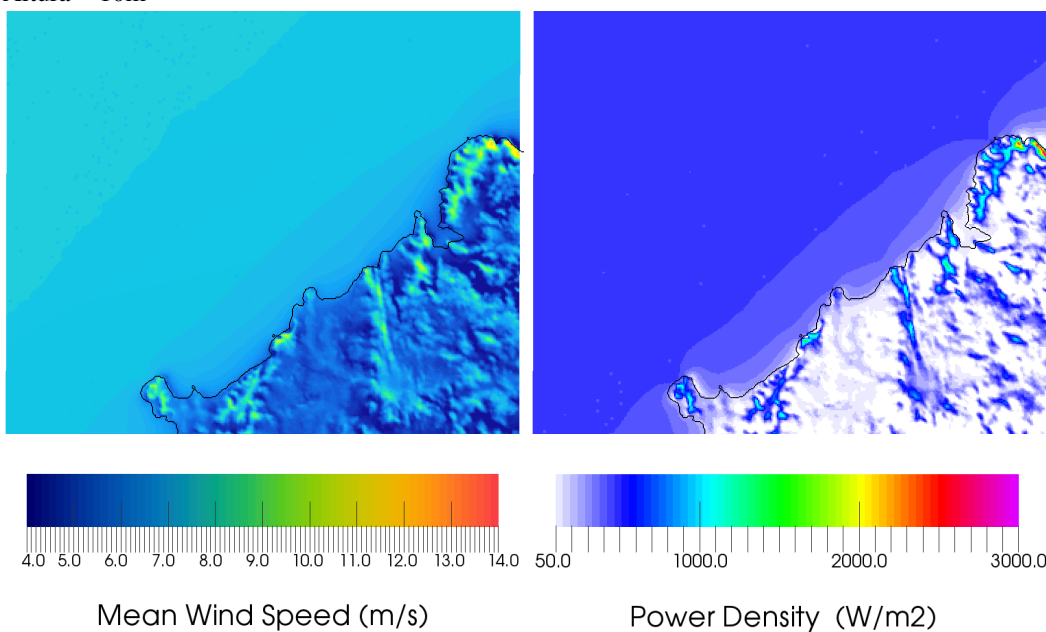


A.5. Valdoviño

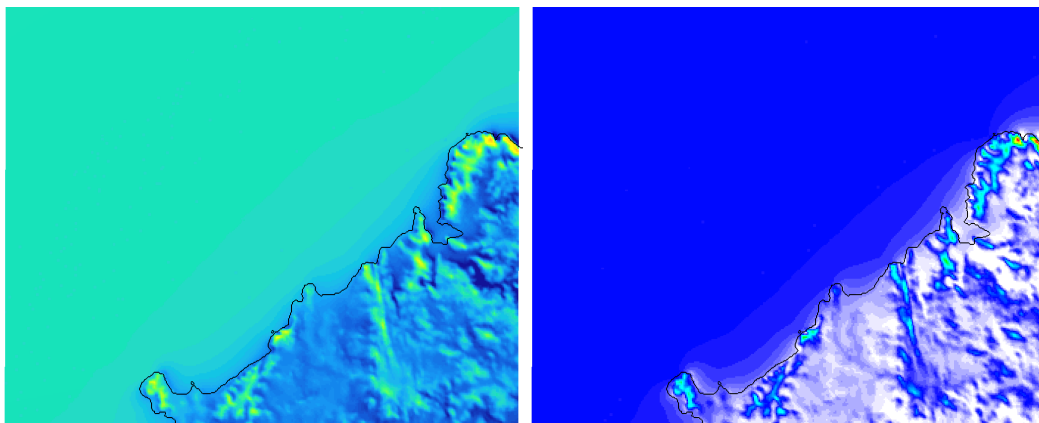


A.5.1. Velocidad media anual y densidad de potencia

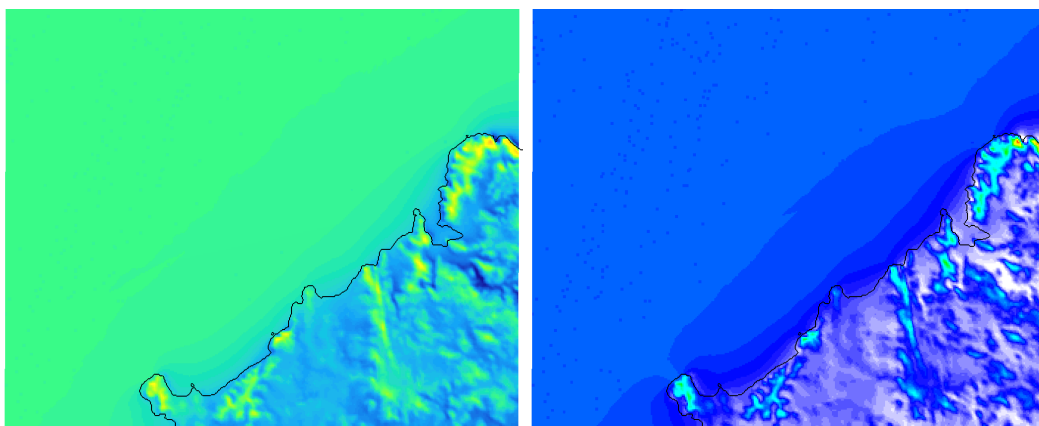
Altura = 10m



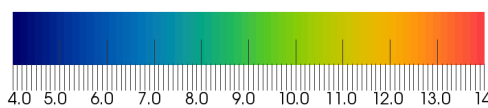
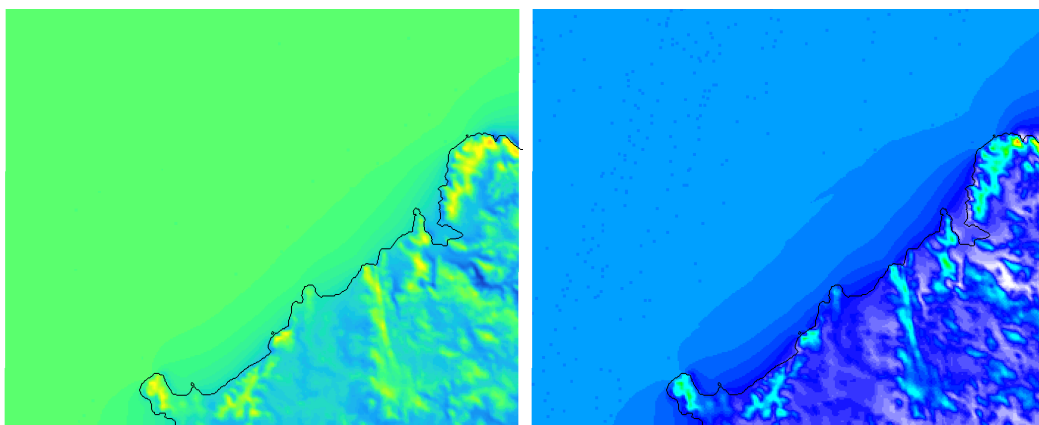
Altura = 20m



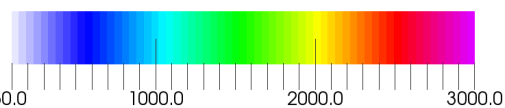
Altura = 40m



Altura = 60m

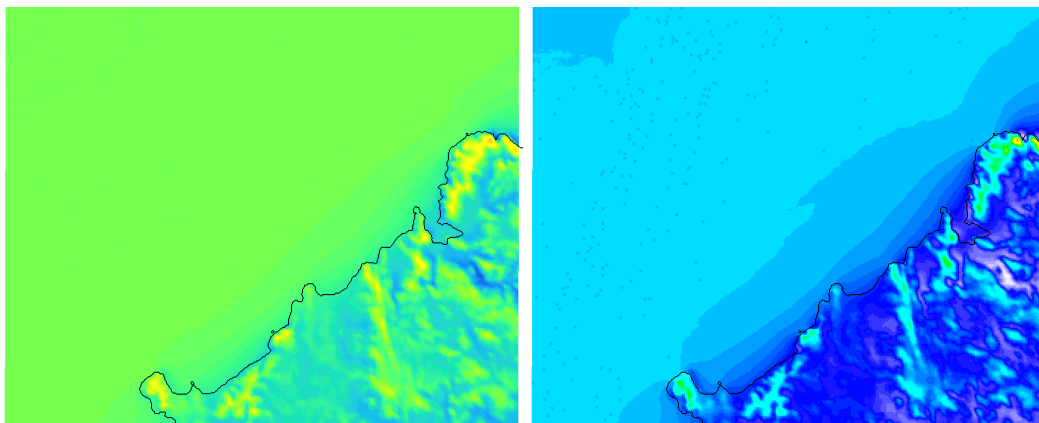


Mean Wind Speed (m/s)

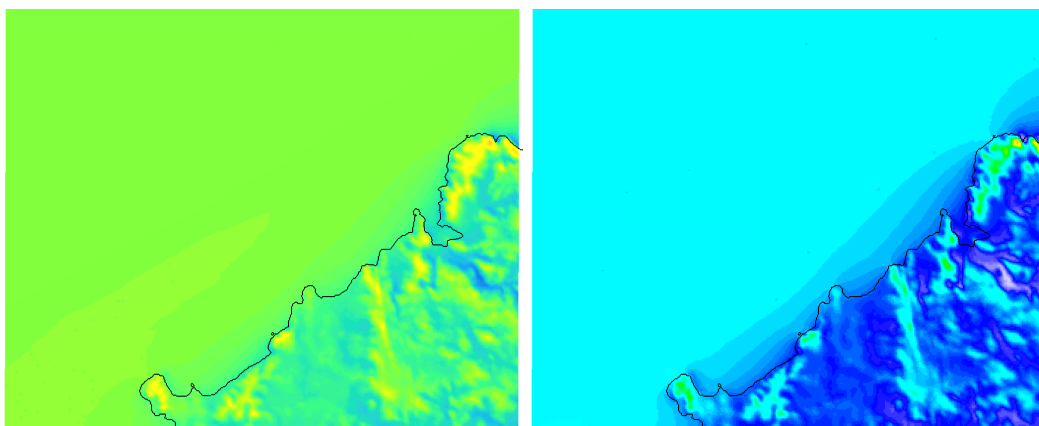


Power Density (W/m2)

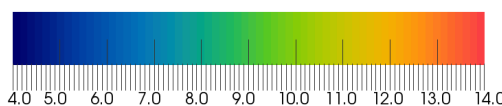
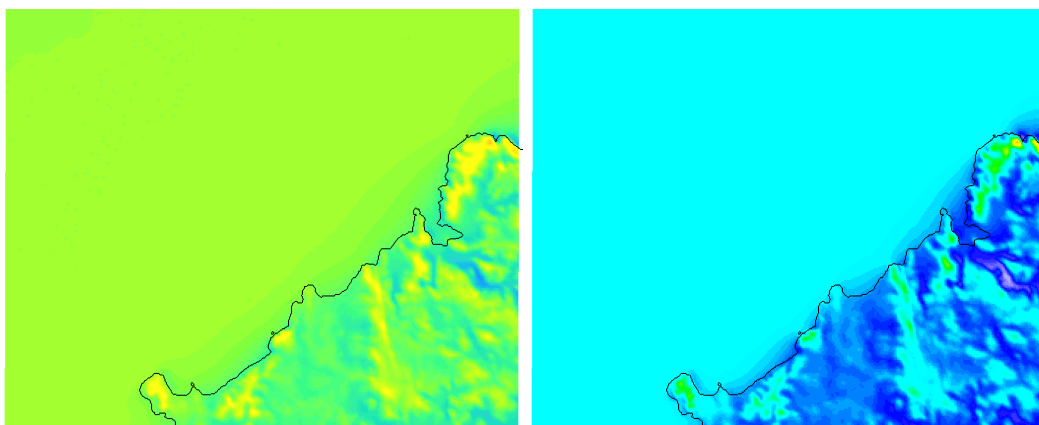
Altura = 80m



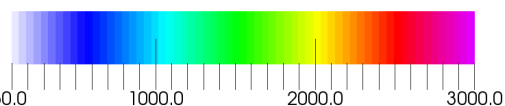
Altura = 100m



Altura = 120m

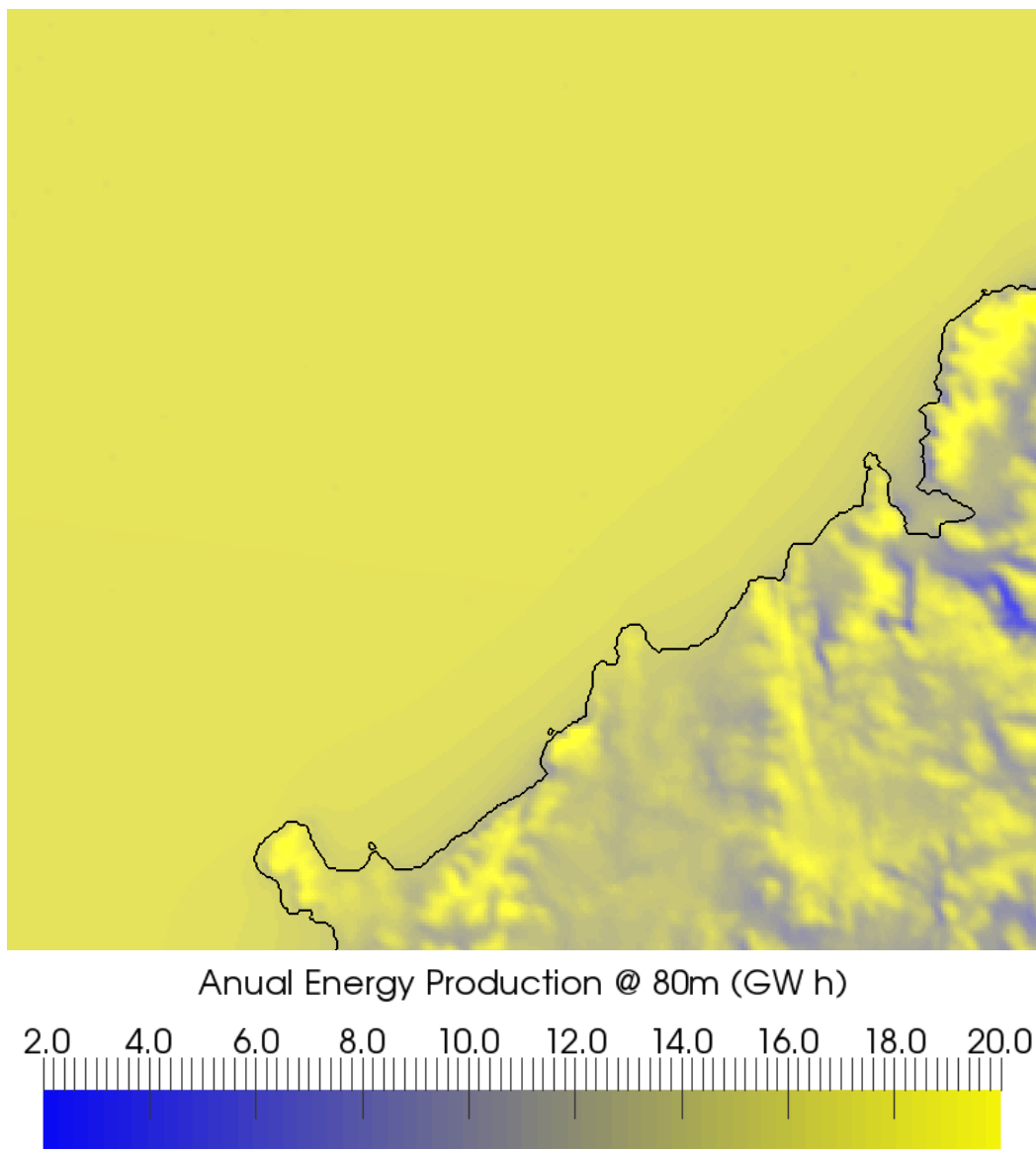


Mean Wind Speed (m/s)

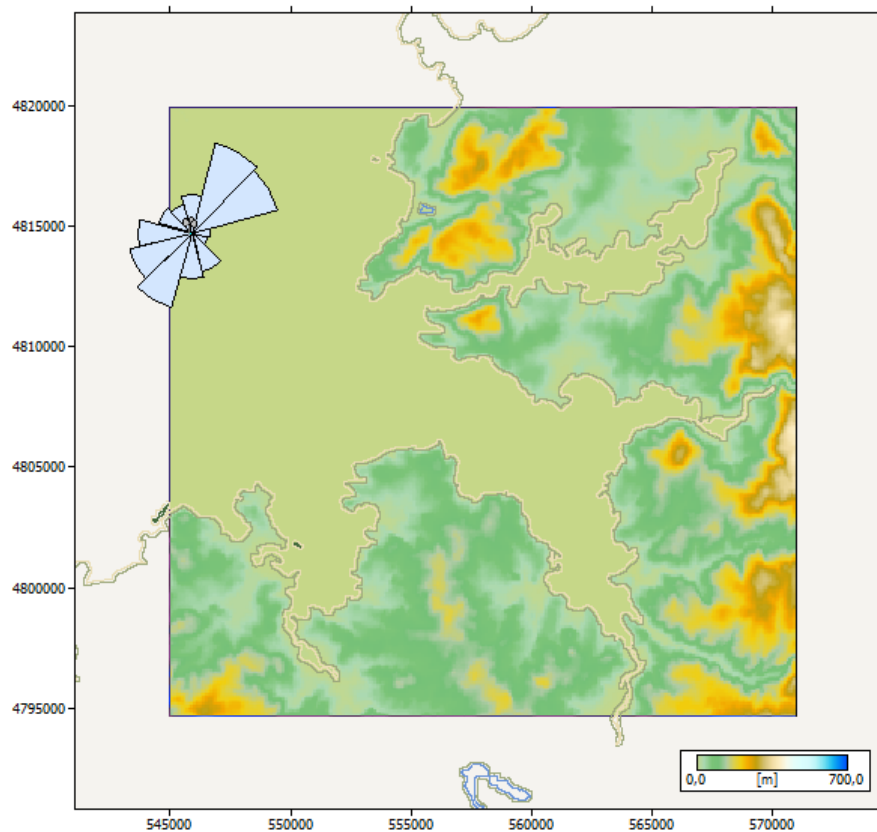


Power Density (W/m2)

A.5.2. Producción media anual de energía

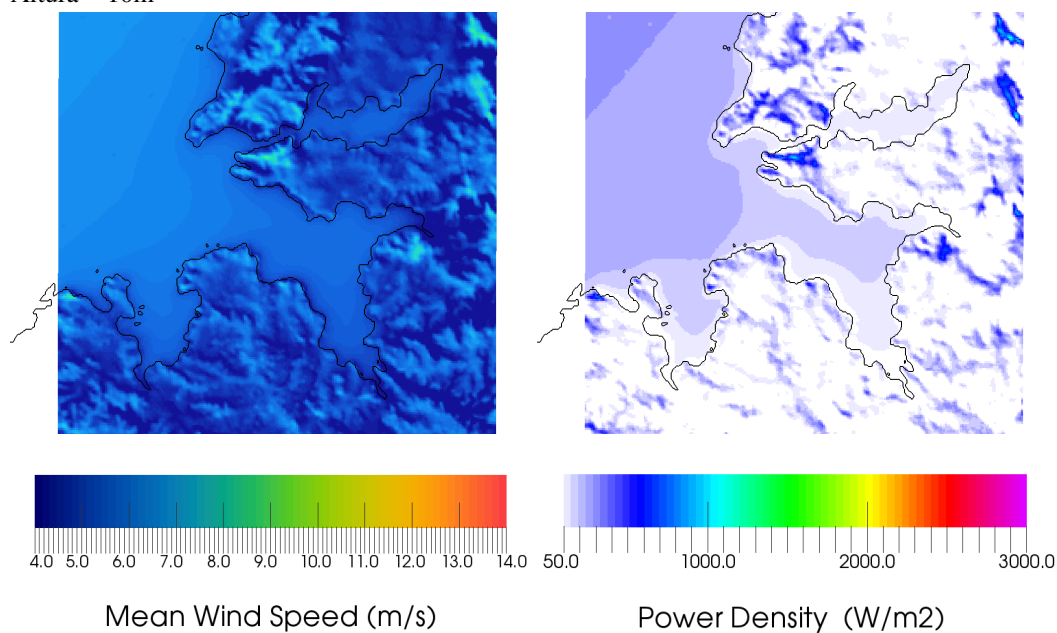


A.6. A Coruña - Ferrol

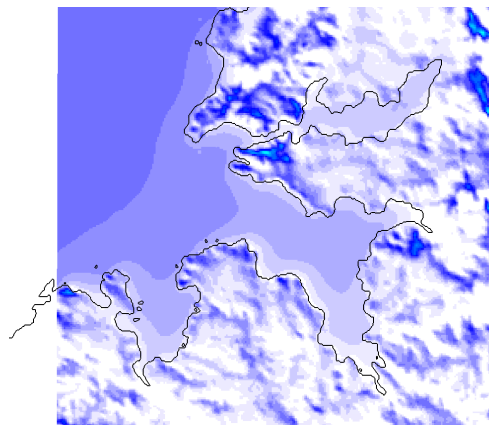
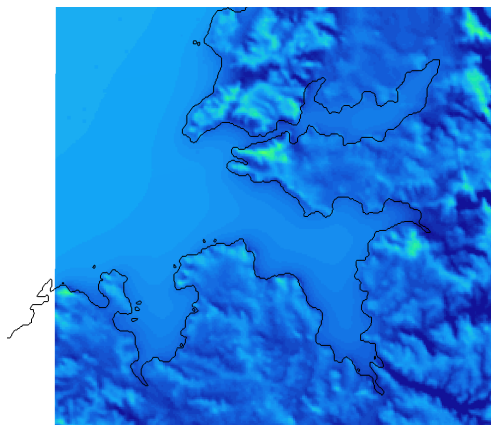


A.6.1. Velocidad media anual y densidad de potencia

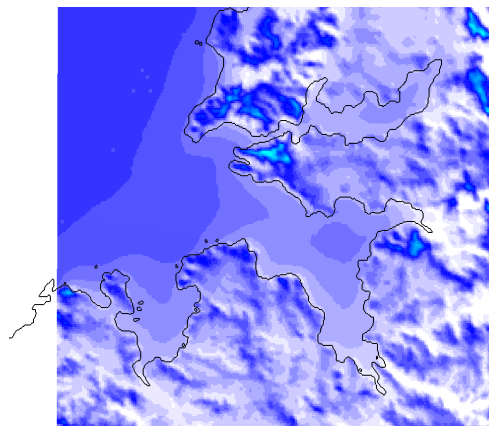
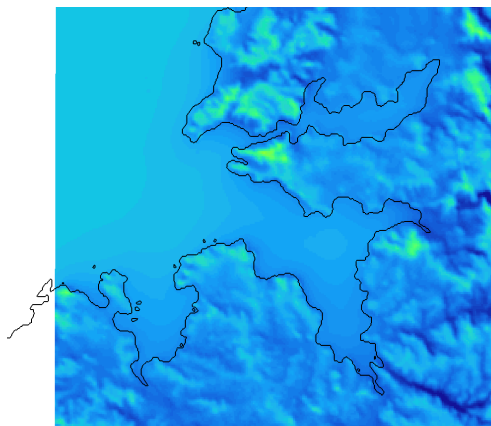
Altura = 10m



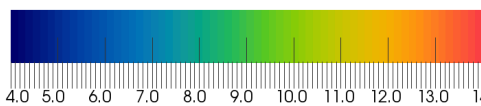
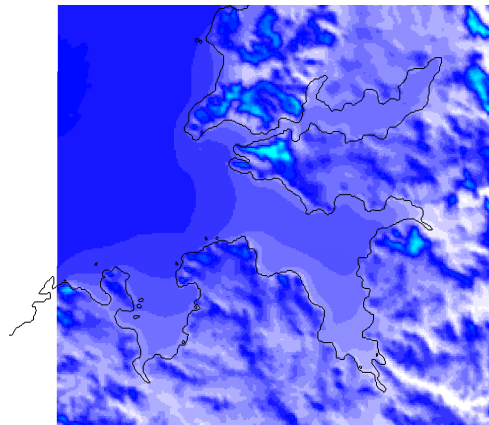
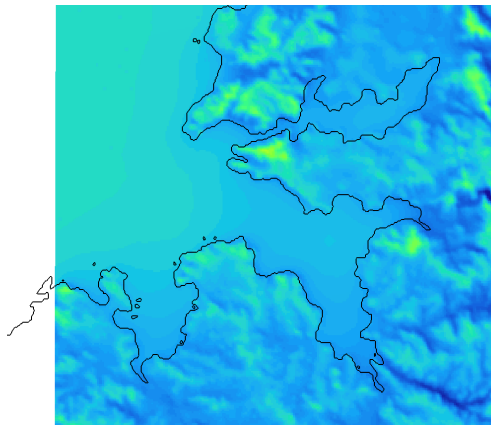
Altura = 20m



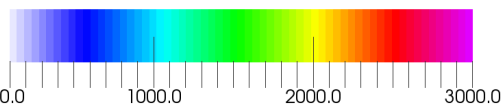
Altura = 40m



Altura = 60m

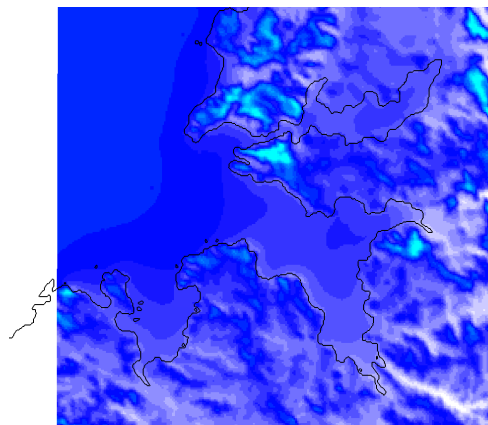
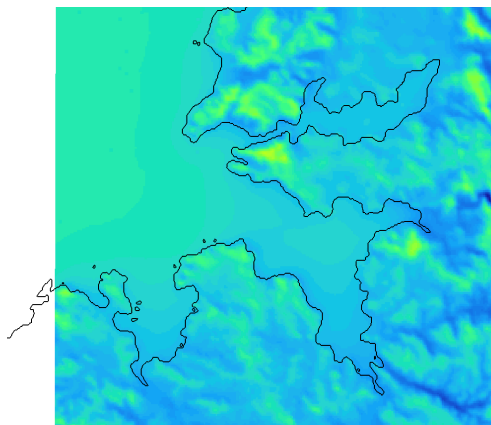


Mean Wind Speed (m/s)

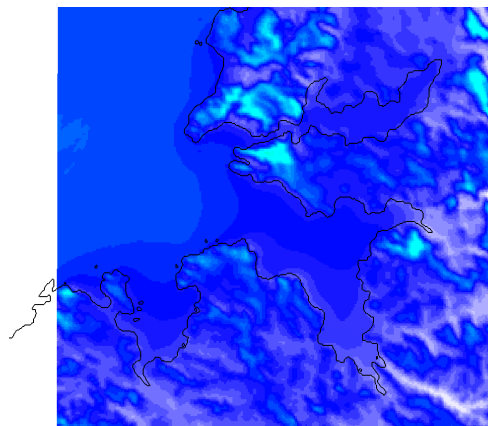
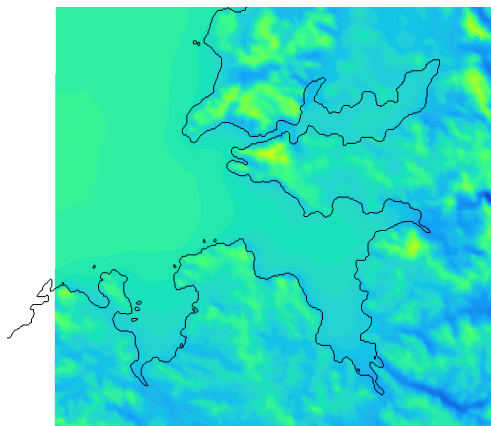


Power Density (W/m²)

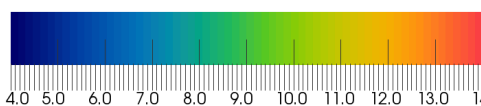
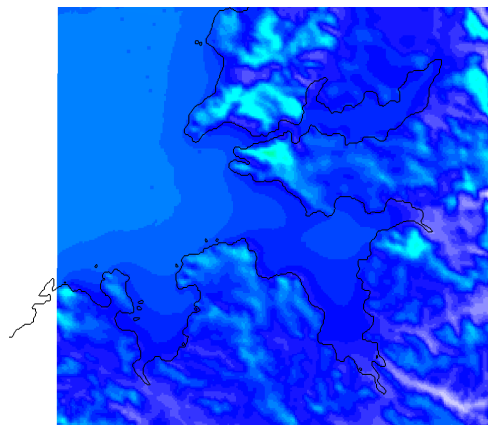
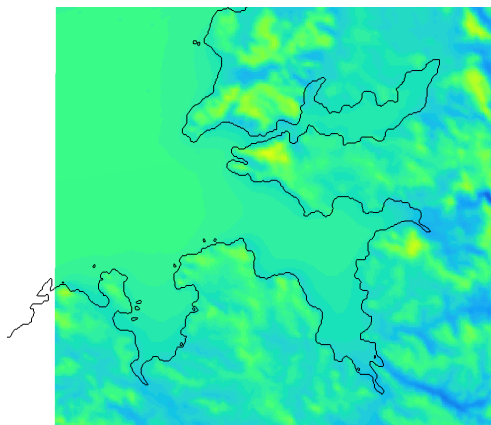
Altura = 80m



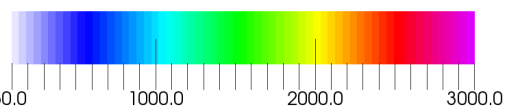
Altura = 100m



Altura = 120m

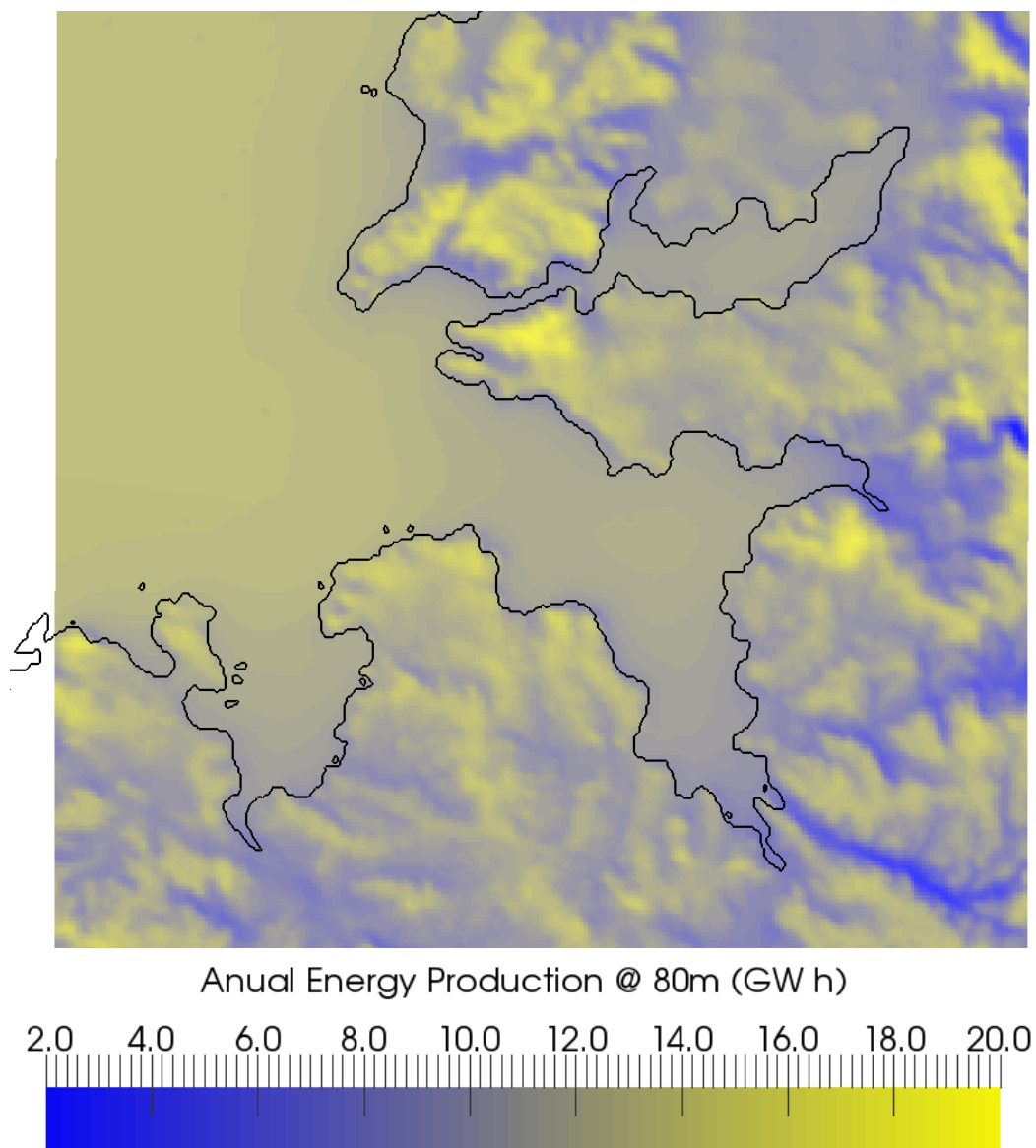


Mean Wind Speed (m/s)

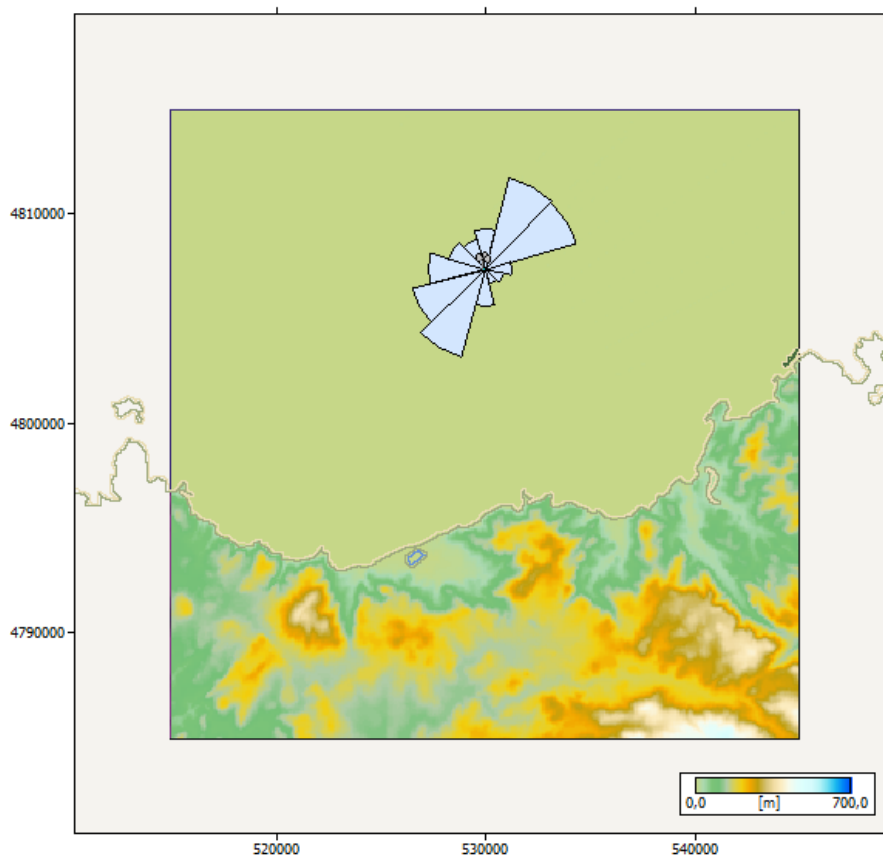


Power Density (W/m2)

A.6.2. Producción media anual de energía

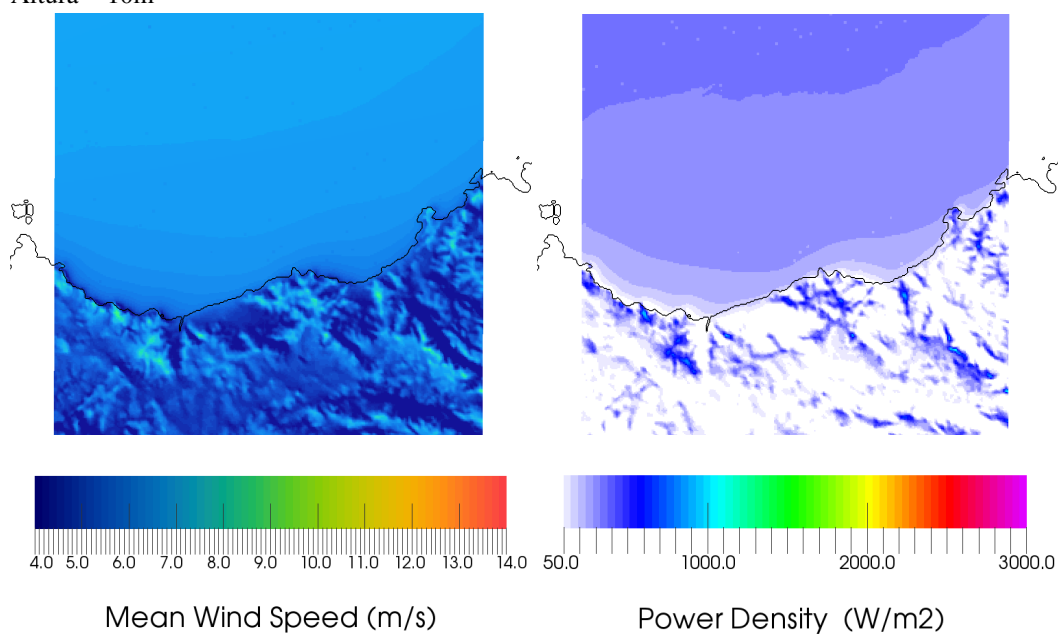


A.7. Arteixo

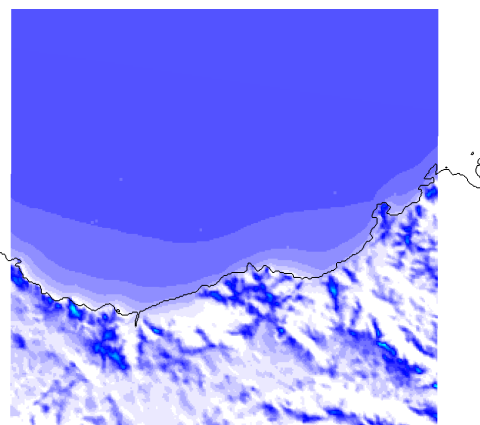
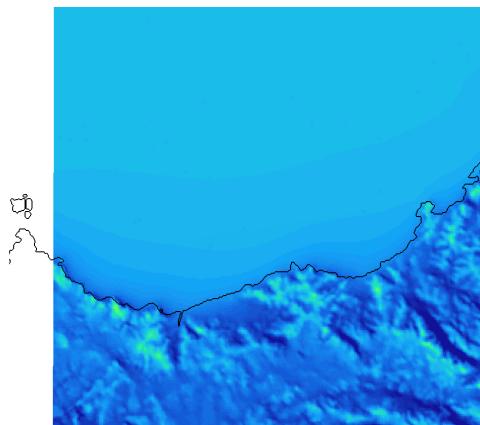


A.7.1. Velocidad media anual y densidad de potencia

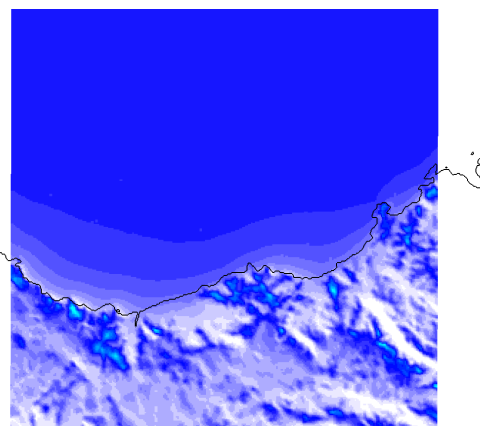
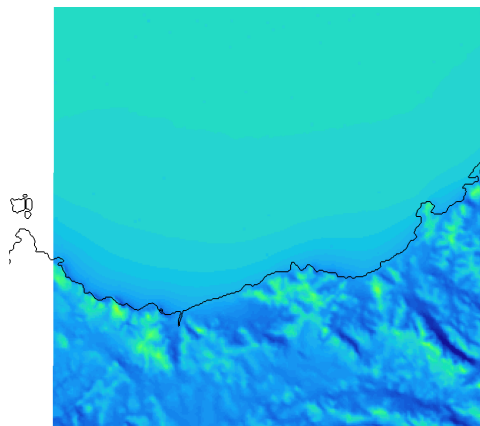
Altura = 10m



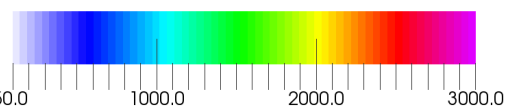
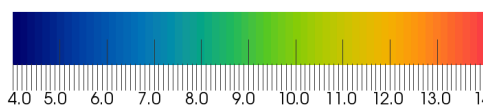
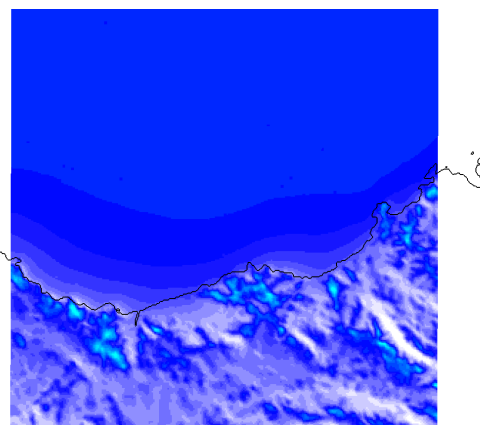
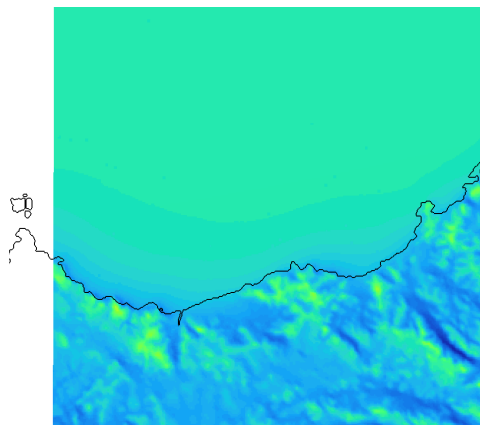
Altura = 20m



Altura = 40m



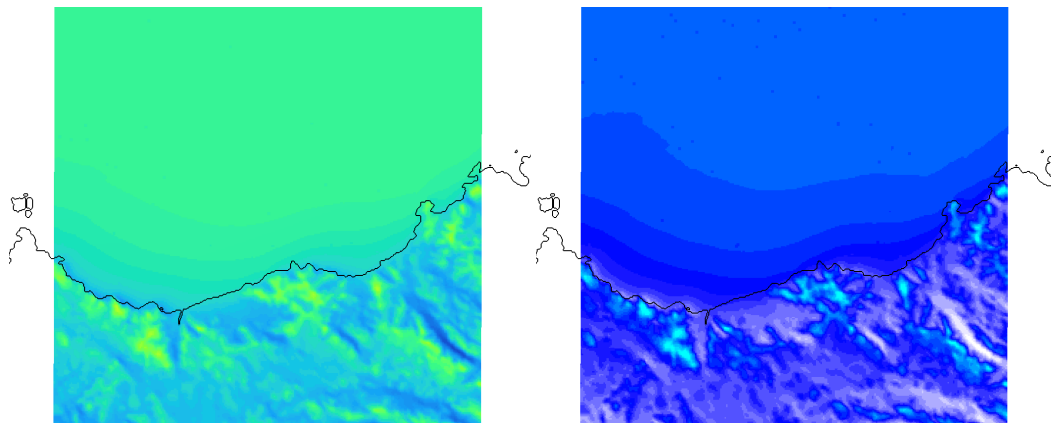
Altura = 60m



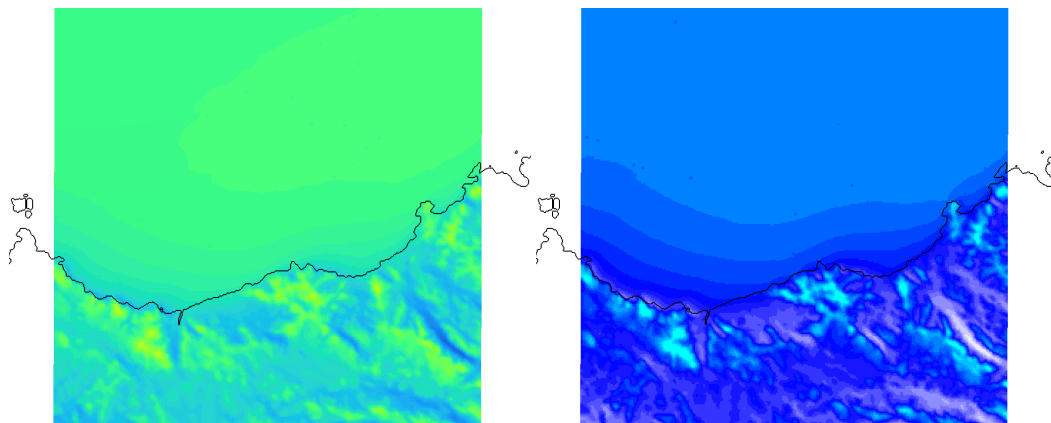
Mean Wind Speed (m/s)

Power Density (W/m²)

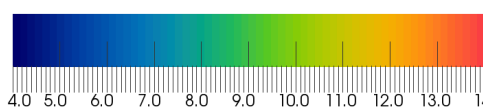
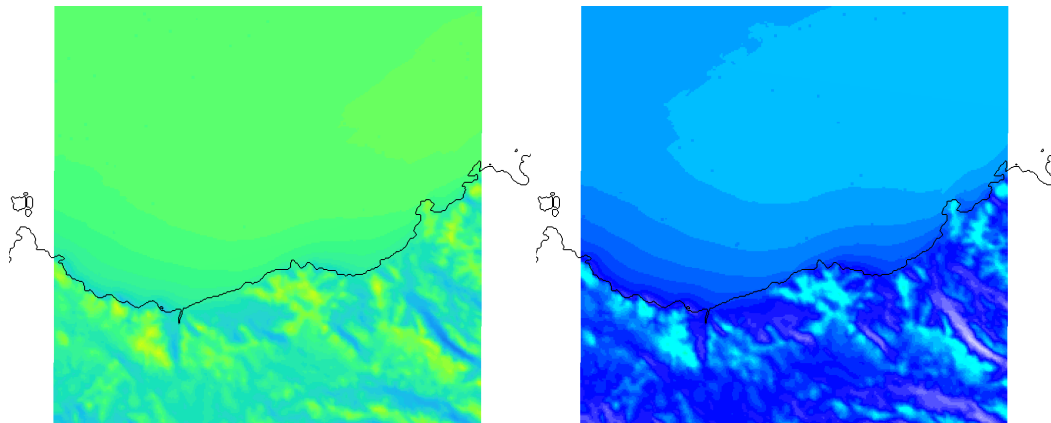
Altura = 80m



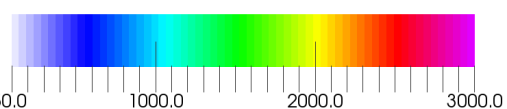
Altura = 100m



Altura = 120m

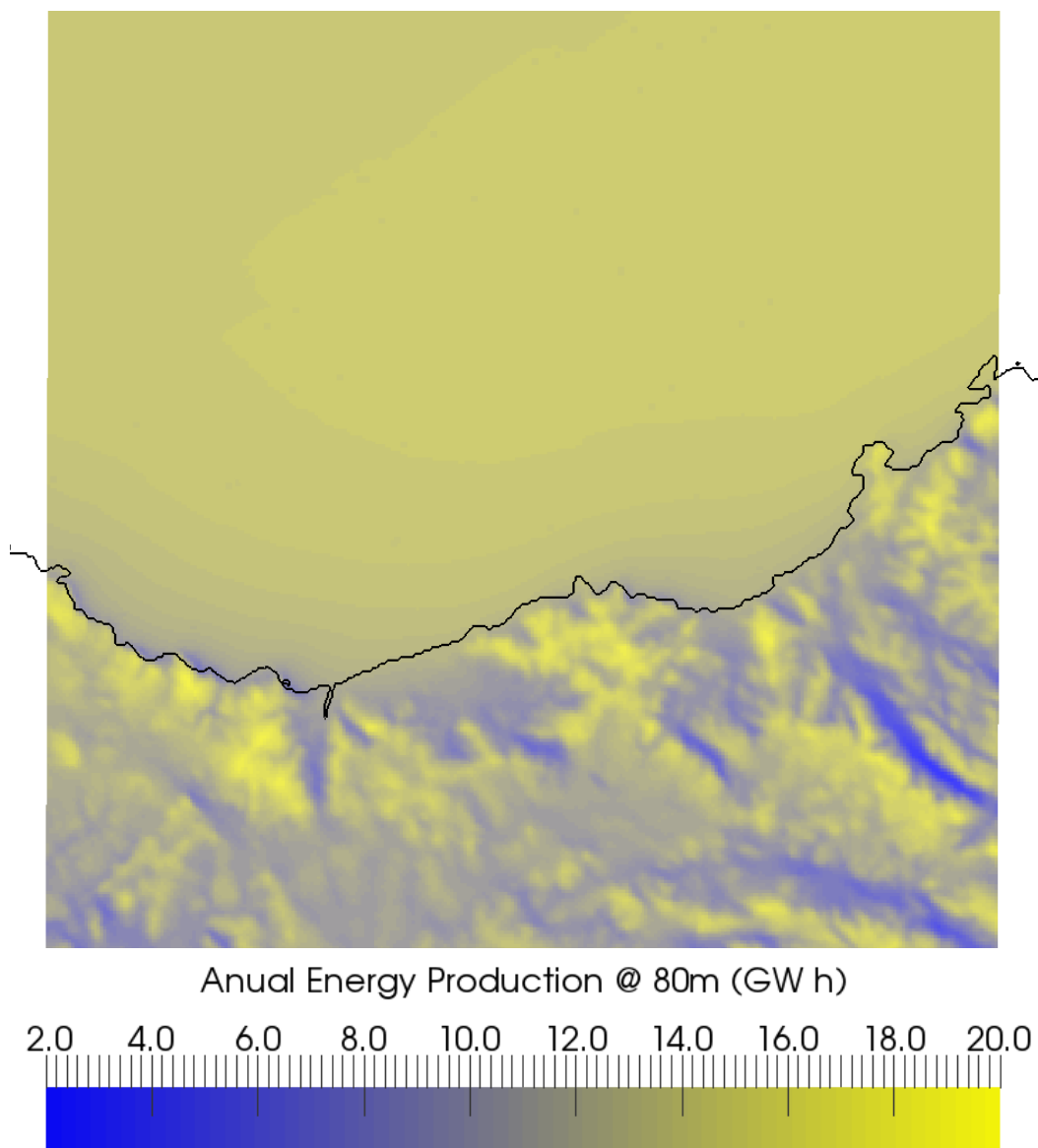


Mean Wind Speed (m/s)

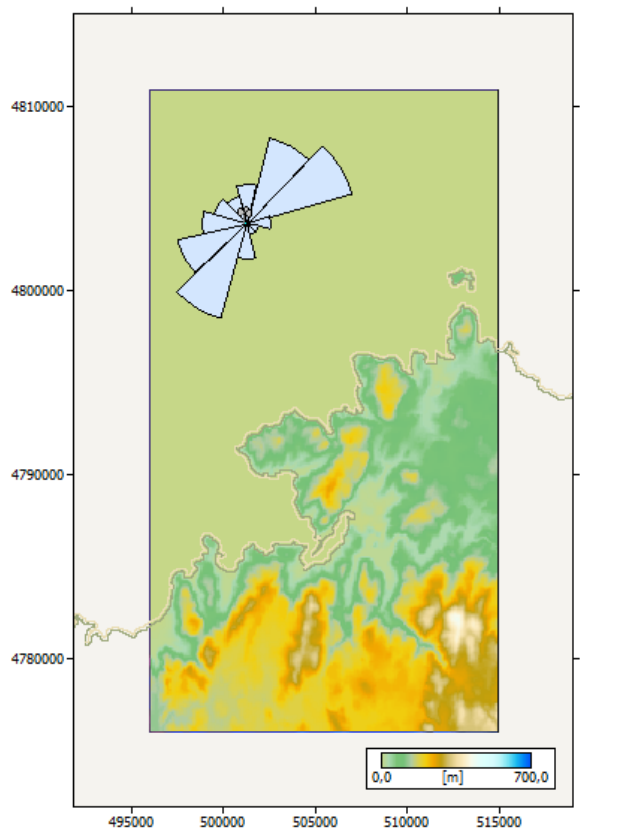


Power Density (W/m²)

A.7.2. Producción media anual de energía

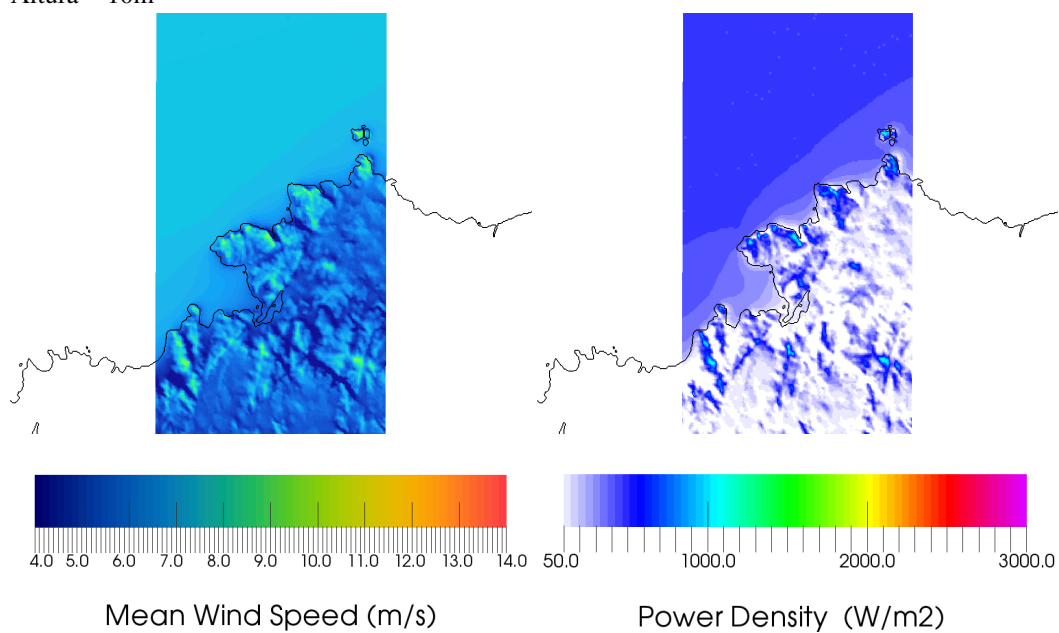


A.8. Laxe

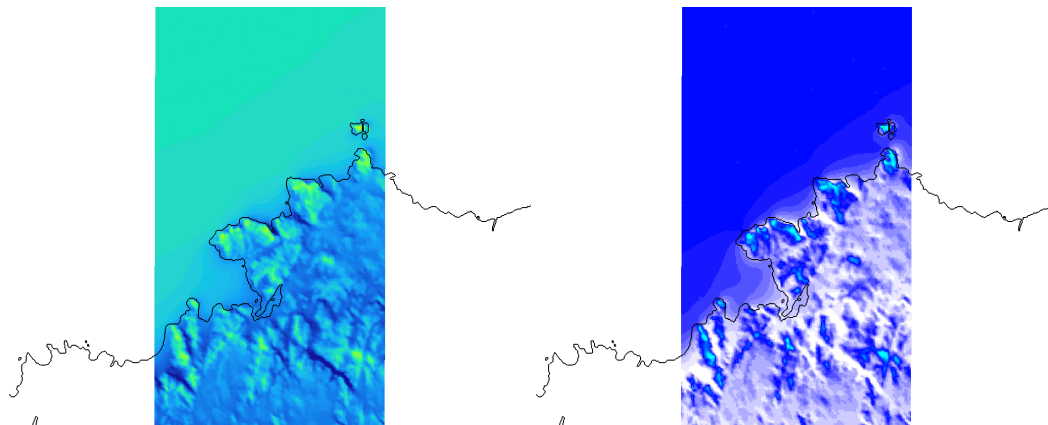


A.8.1. Velocidad media anual y densidad de potencia

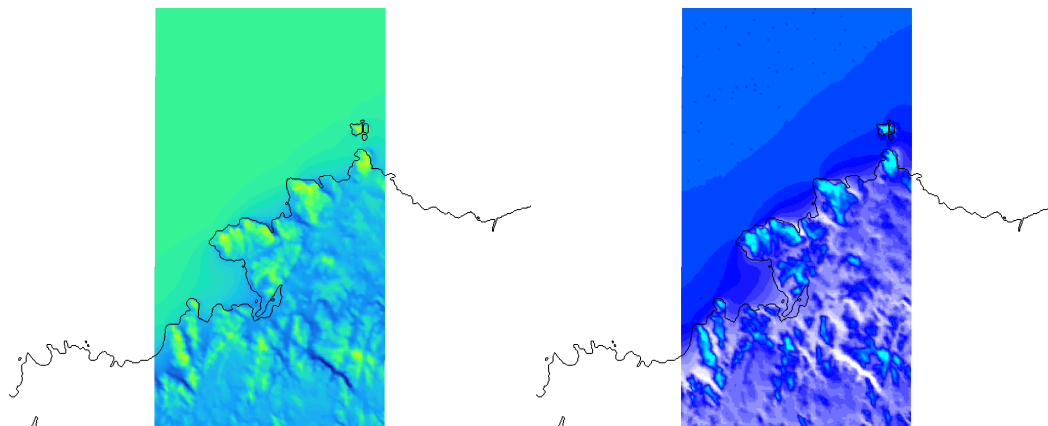
Altura = 10m



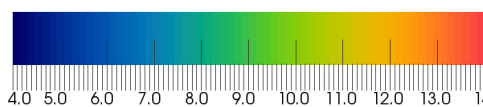
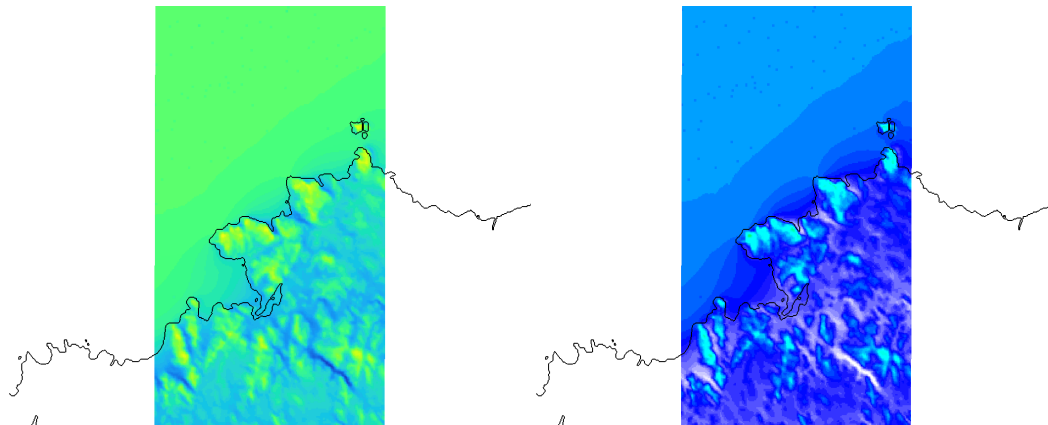
Altura = 20m



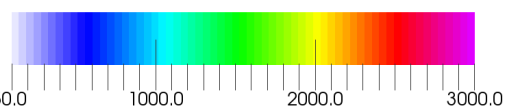
Altura = 40m



Altura = 60m

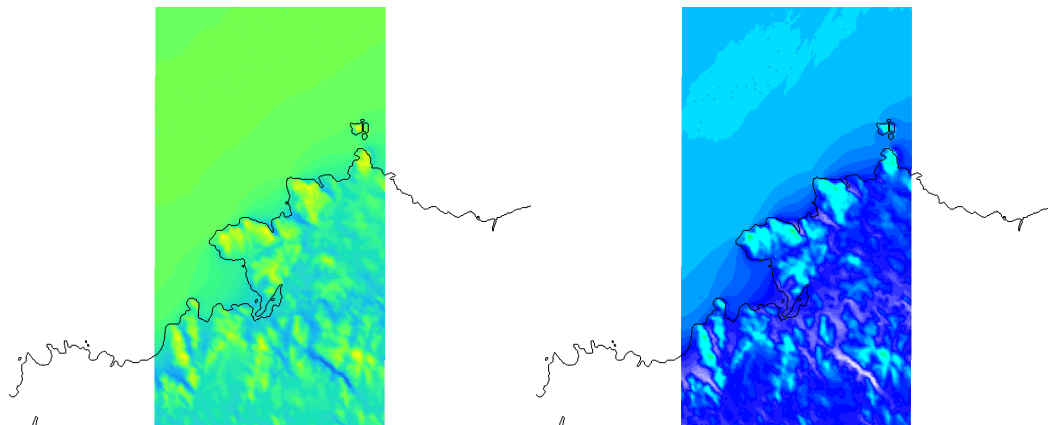


Mean Wind Speed (m/s)

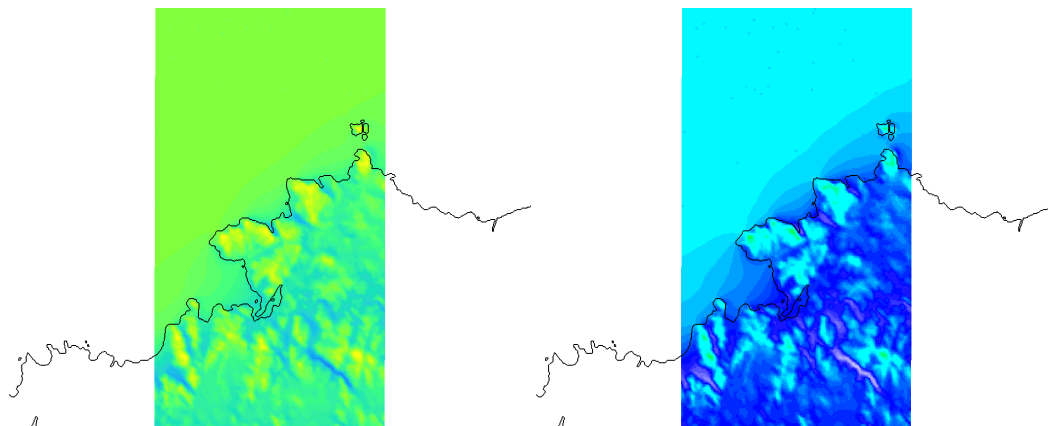


Power Density (W/m²)

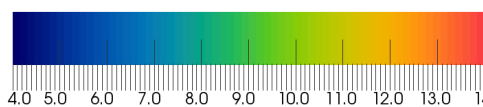
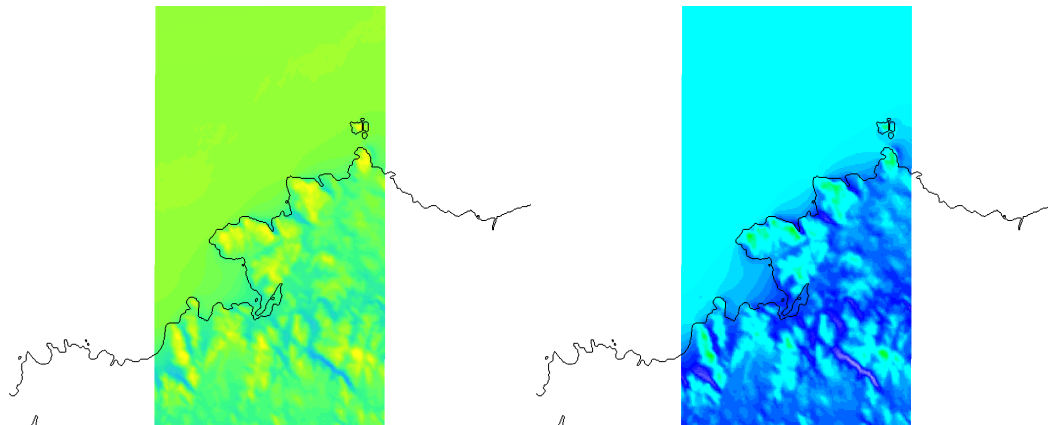
Altura = 80m



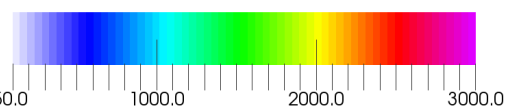
Altura = 100m



Altura = 120m

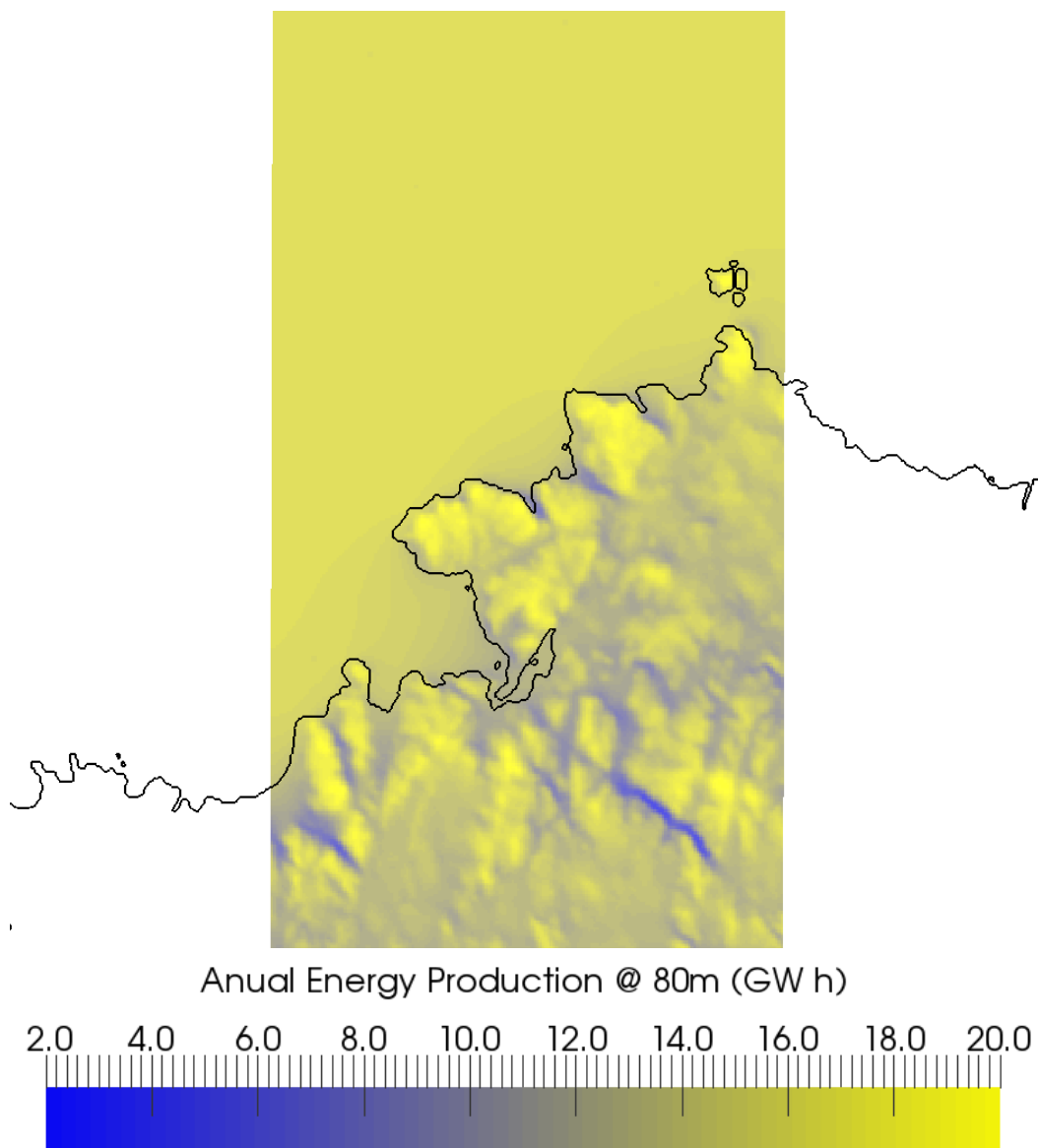


Mean Wind Speed (m/s)

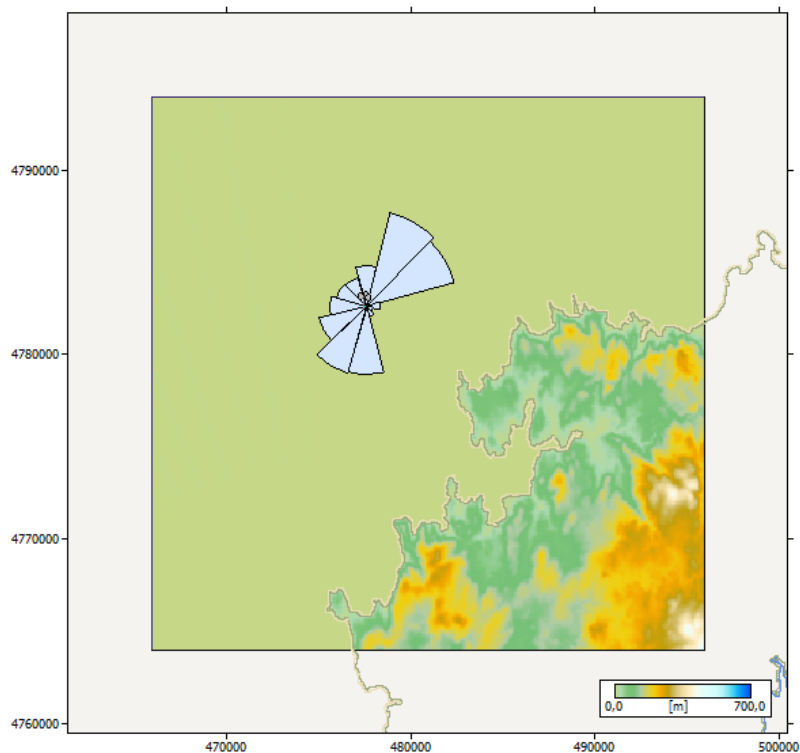


Power Density (W/m²)

A.8.2. Producción media anual de energía

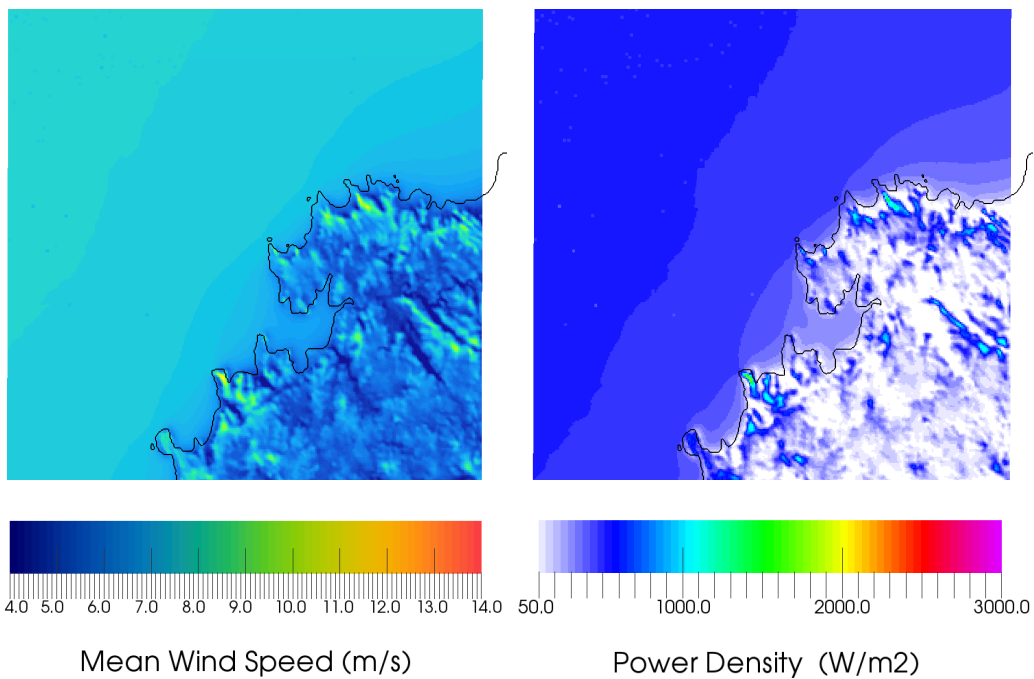


A.9. Muxía

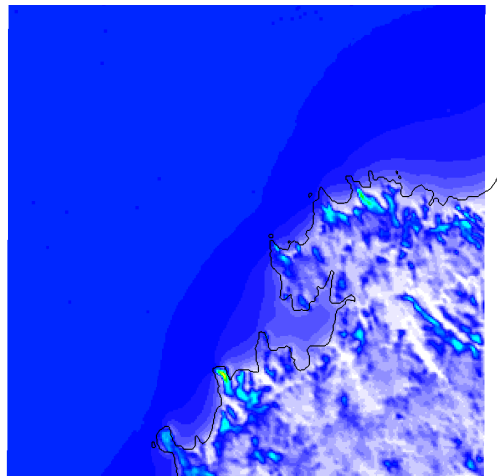
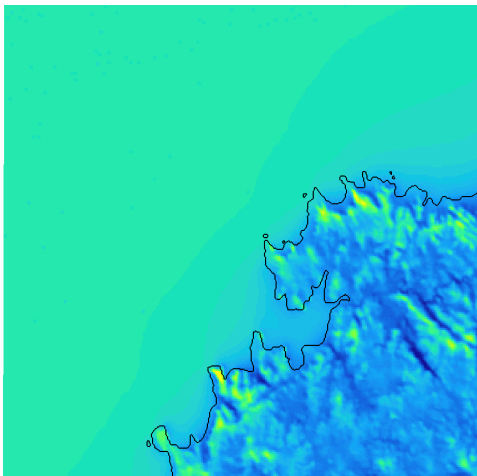


A.9.1. Velocidad media anual y densidad de potencia

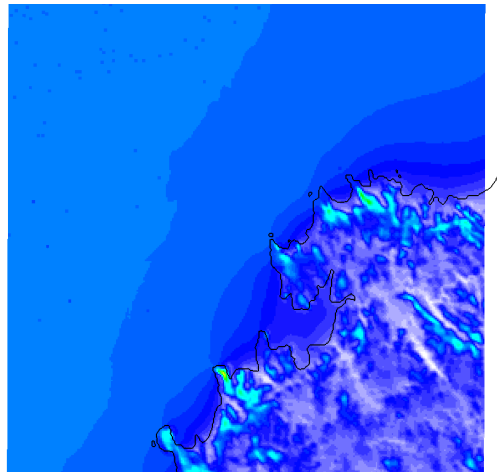
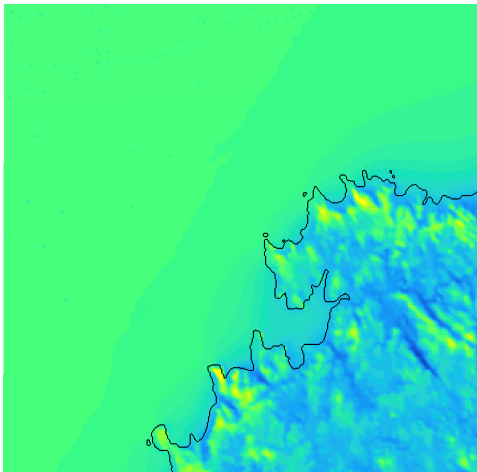
Altura = 10m



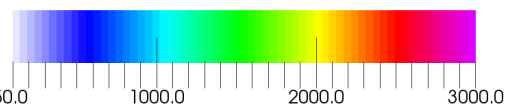
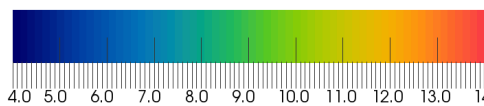
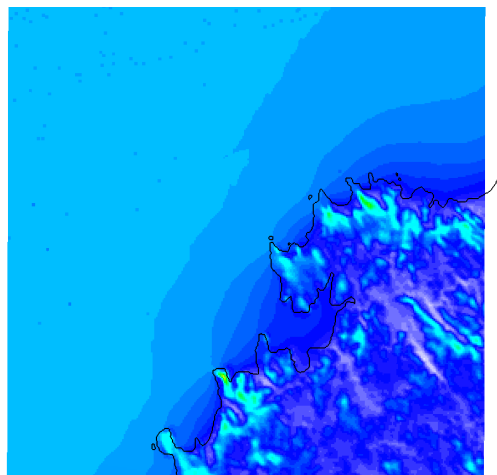
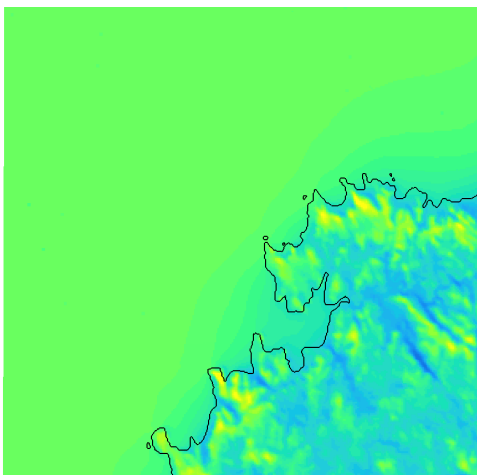
Altura = 20m



Altura = 40m



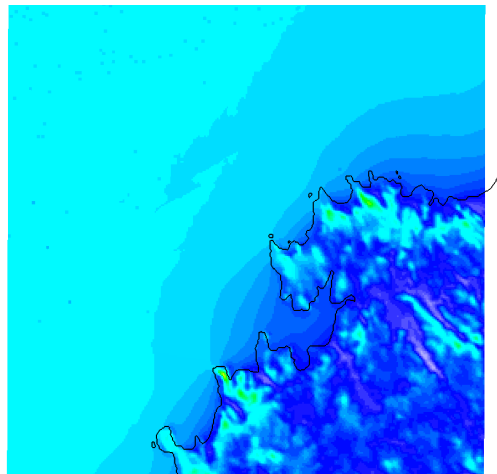
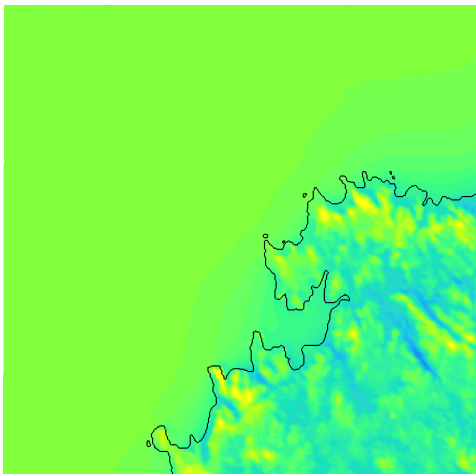
Altura = 60m



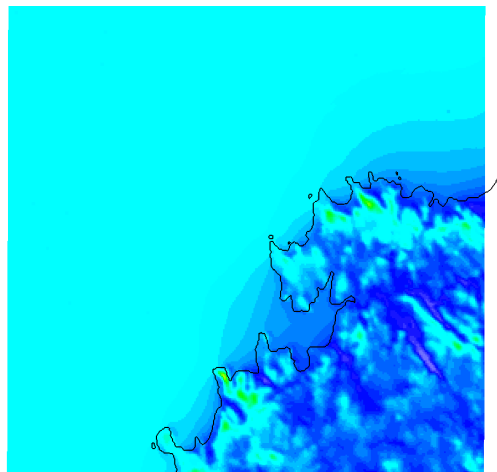
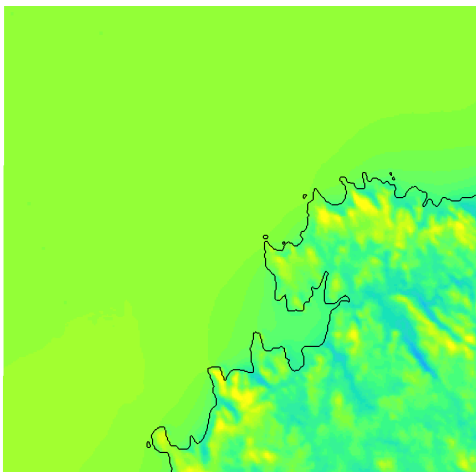
Mean Wind Speed (m/s)

Power Density (W/m²)

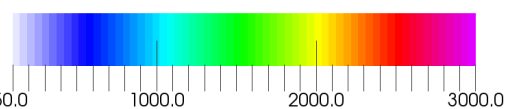
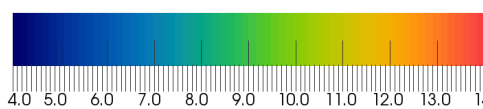
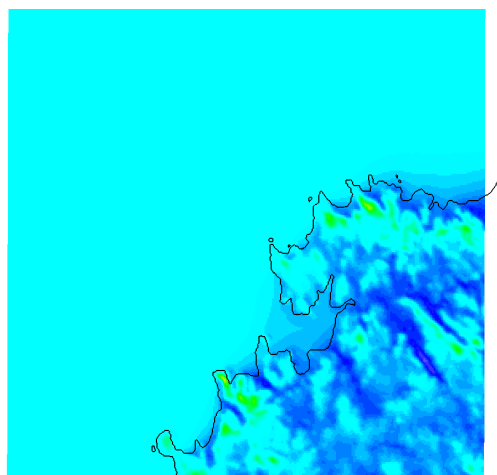
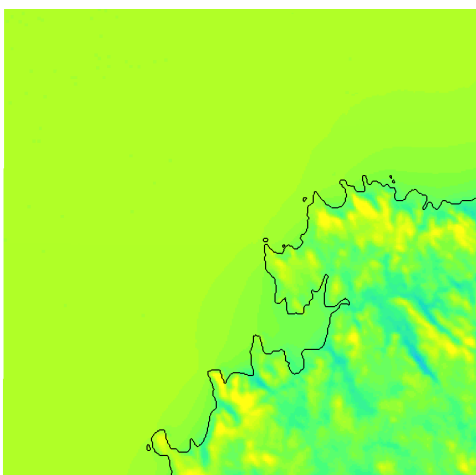
Altura = 80m



Altura = 100m



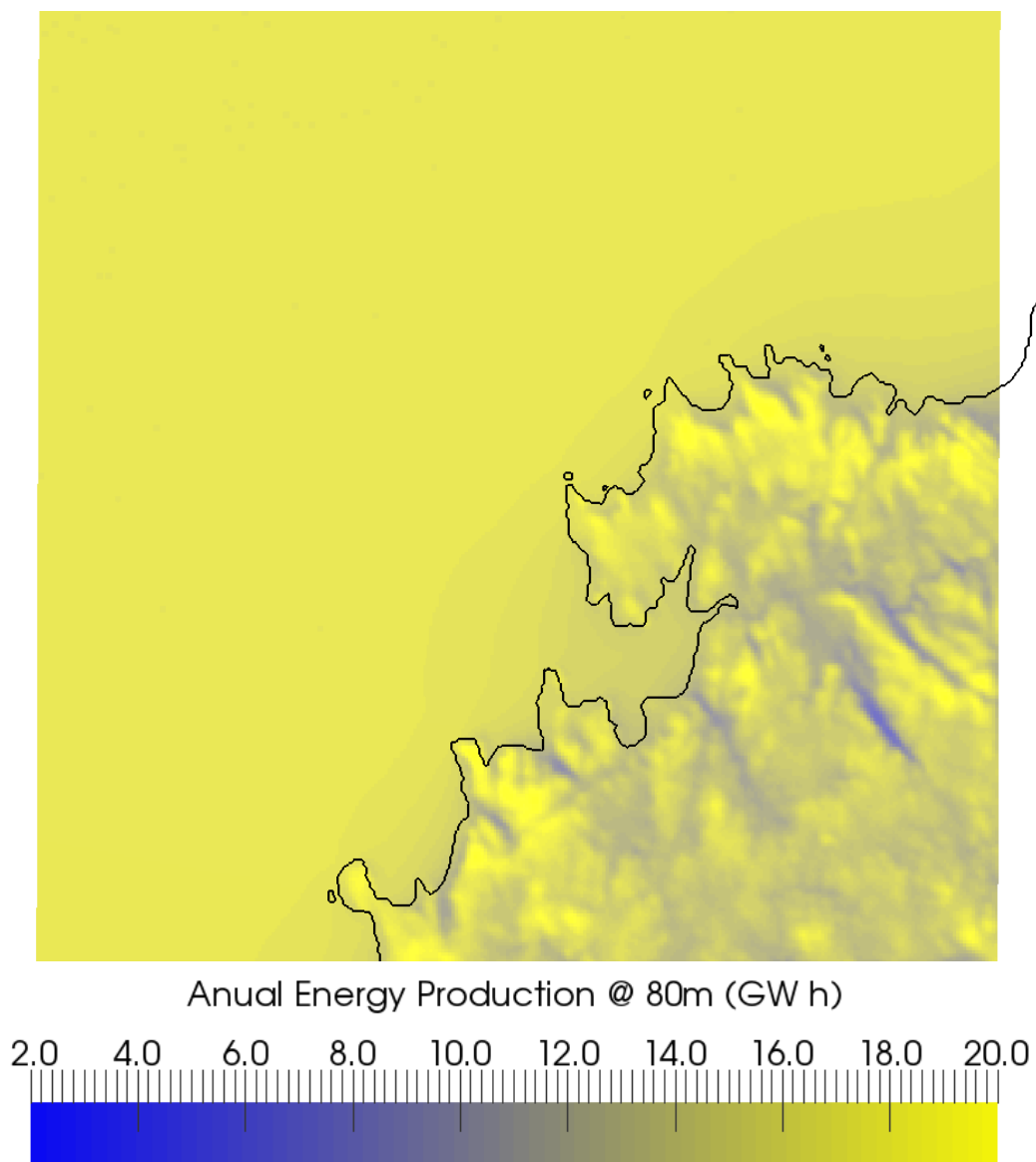
Altura = 120m



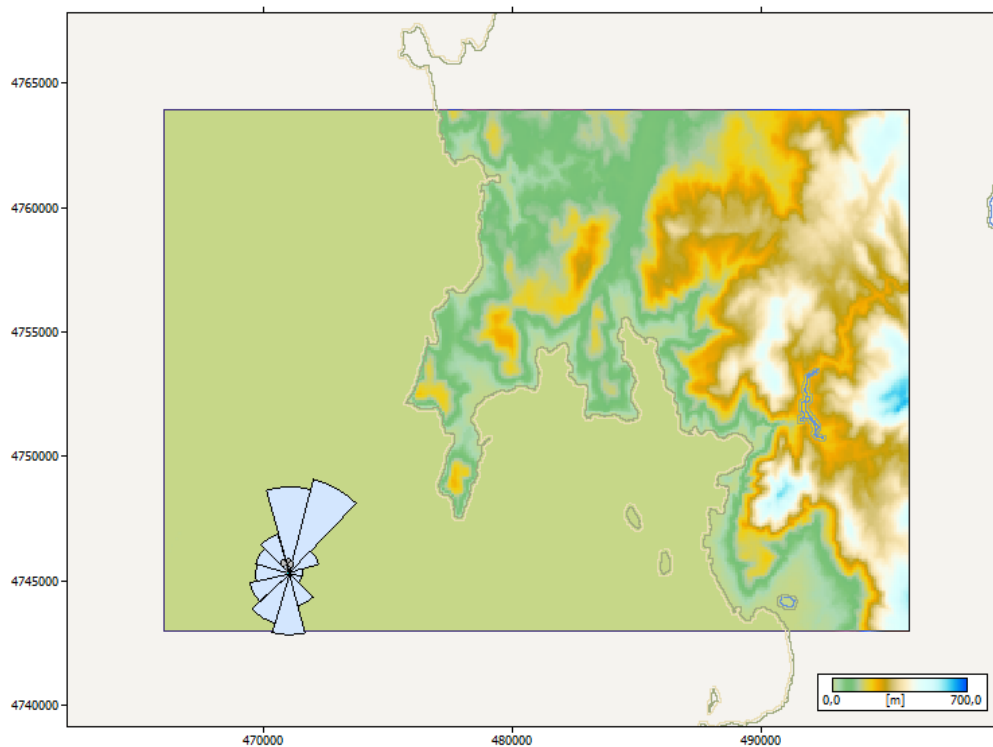
Mean Wind Speed (m/s)

Power Density (W/m²)

A.9.2. Producción media anual de energía

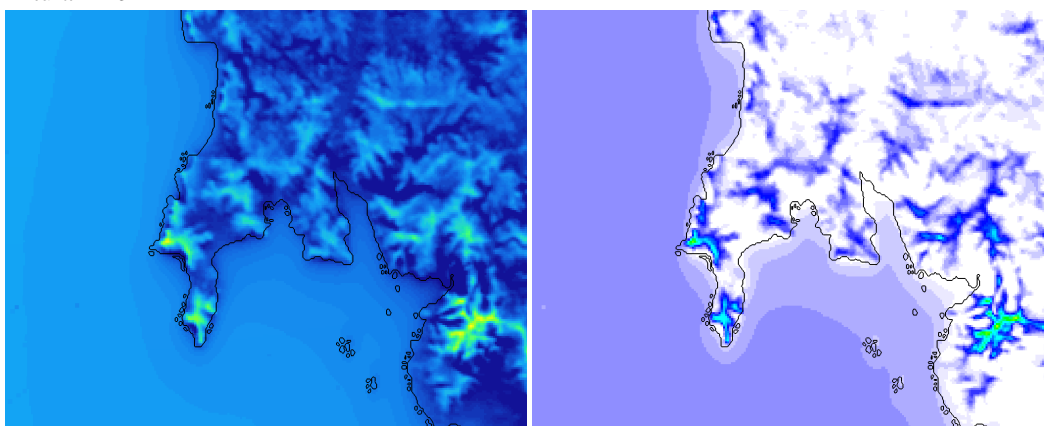


A.10. Fisterra



A.10.1. Velocidad media anual y densidad de potencia

Altura = 10m

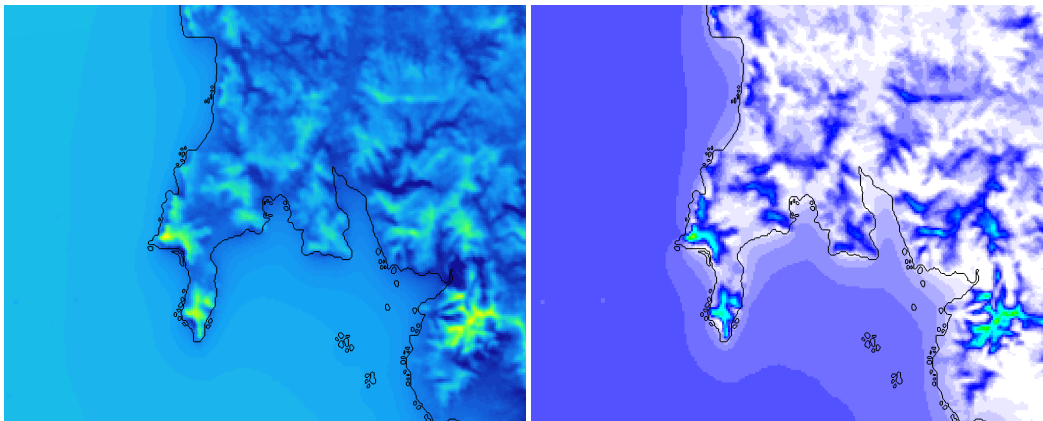


Mean Wind Speed (m/s)

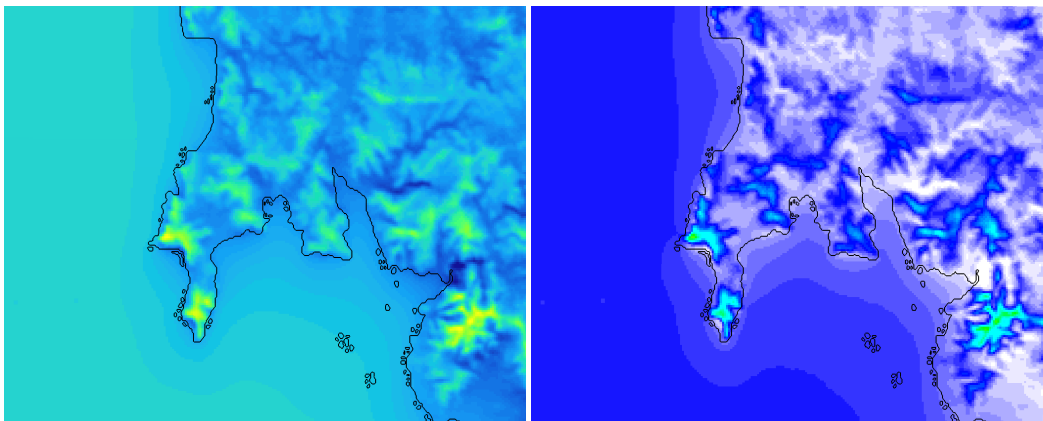


Power Density (W/m²)

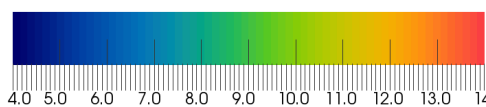
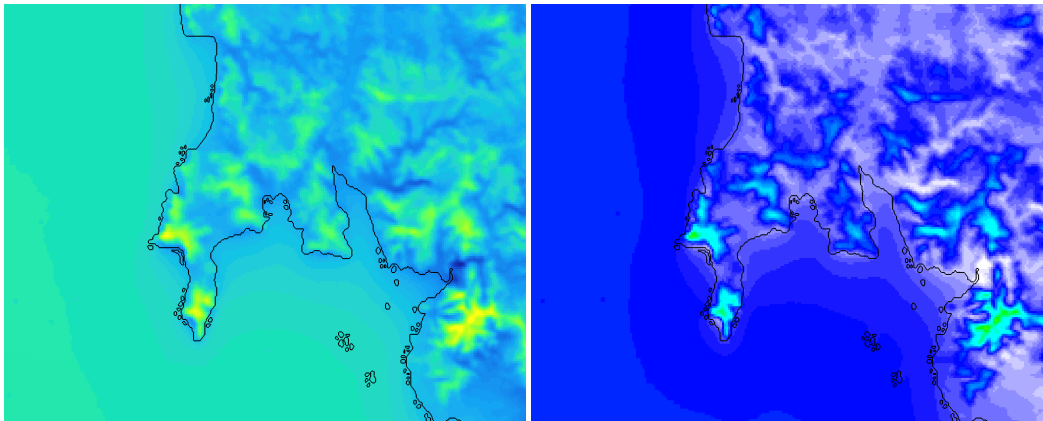
Altura = 20m



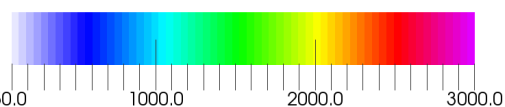
Altura = 40m



Altura = 60m

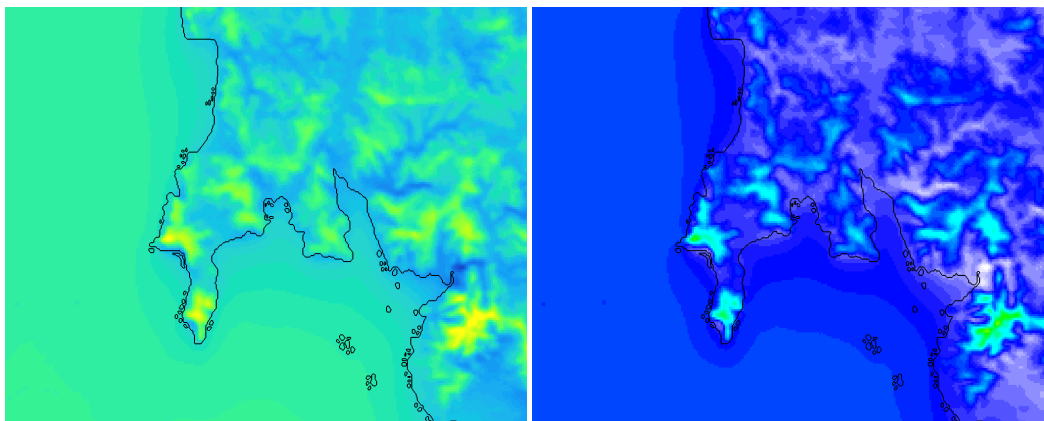


Mean Wind Speed (m/s)

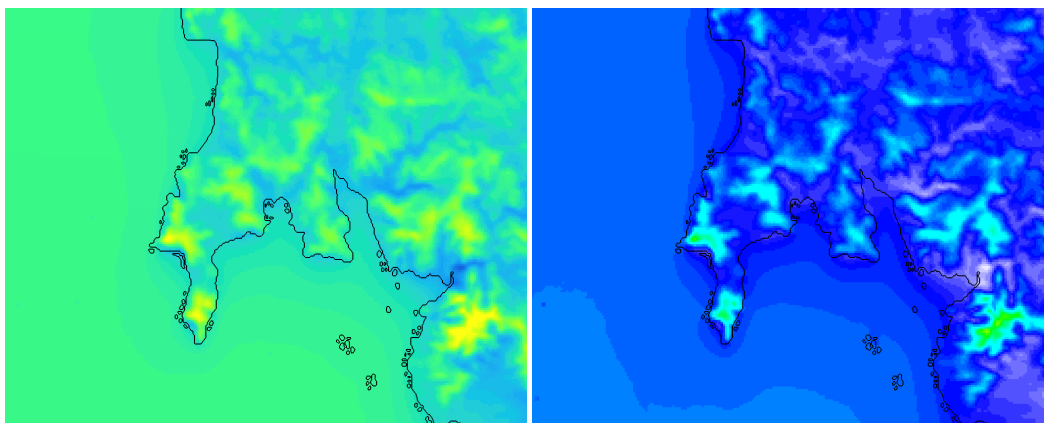


Power Density (W/m²)

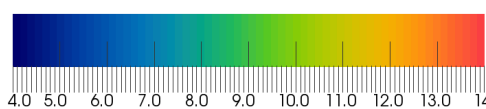
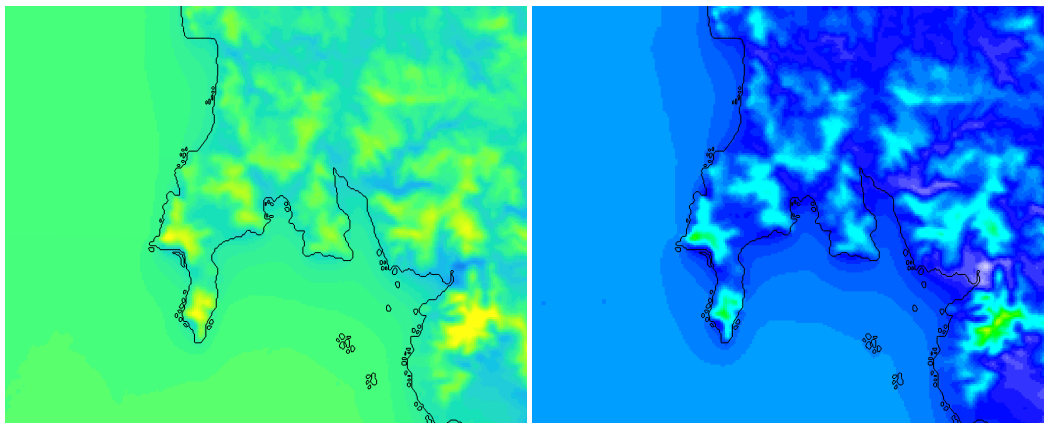
Altura = 80m



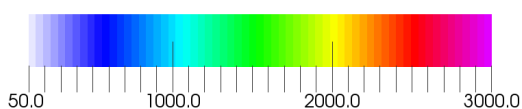
Altura = 100m



Altura = 120m

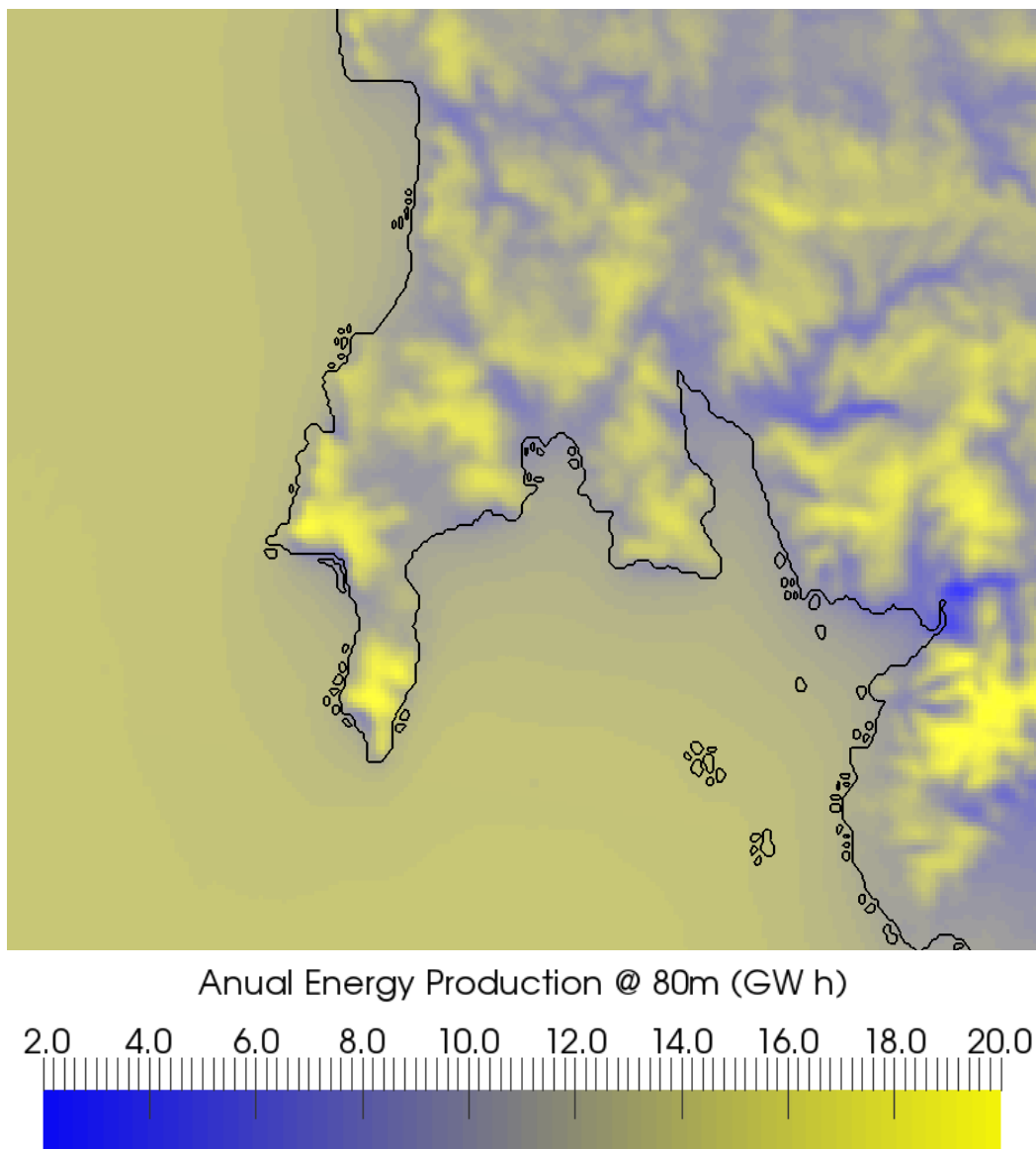


Mean Wind Speed (m/s)

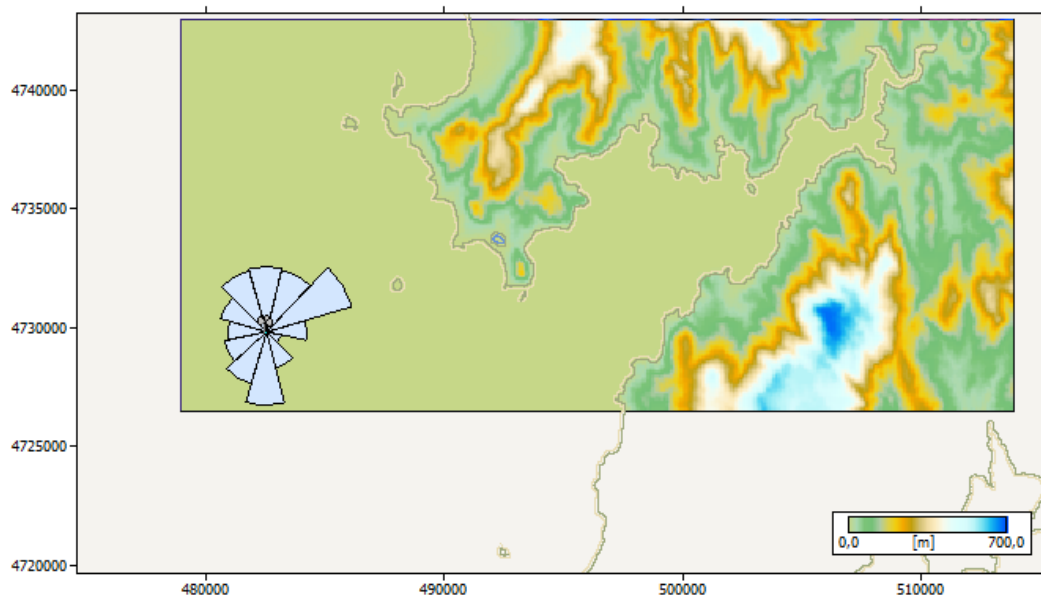


Power Density (W/m2)

A.10.2. Producción media anual de energía

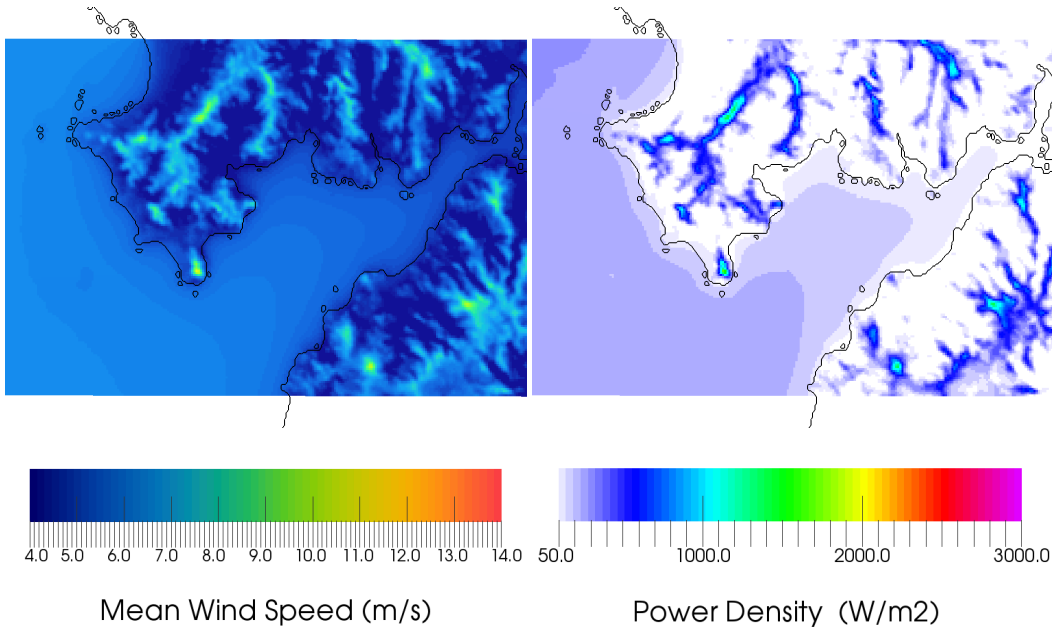


A.11. Muros - Noia

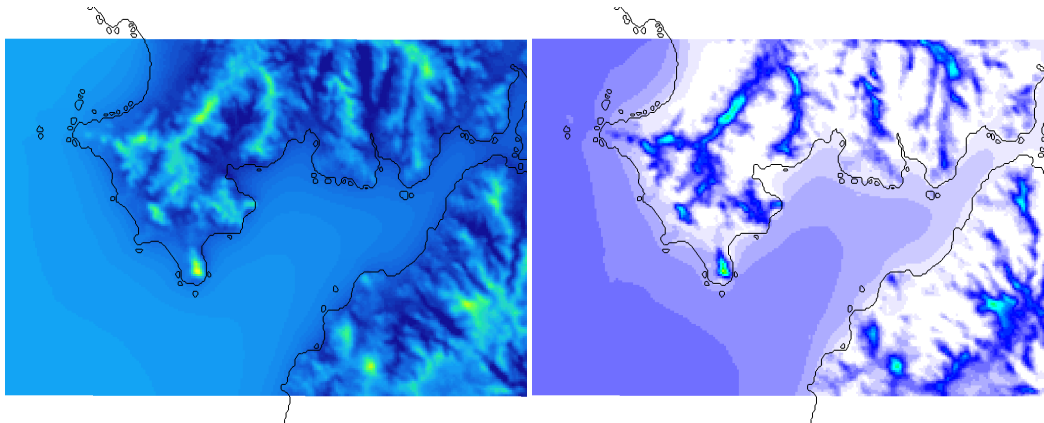


A.11.1. Velocidad media anual y densidad de potencia

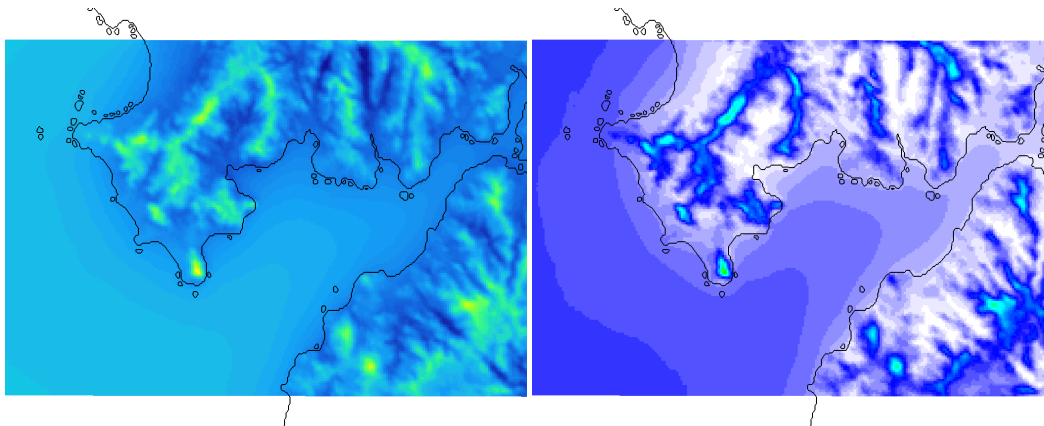
Altura = 10m



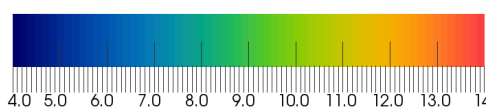
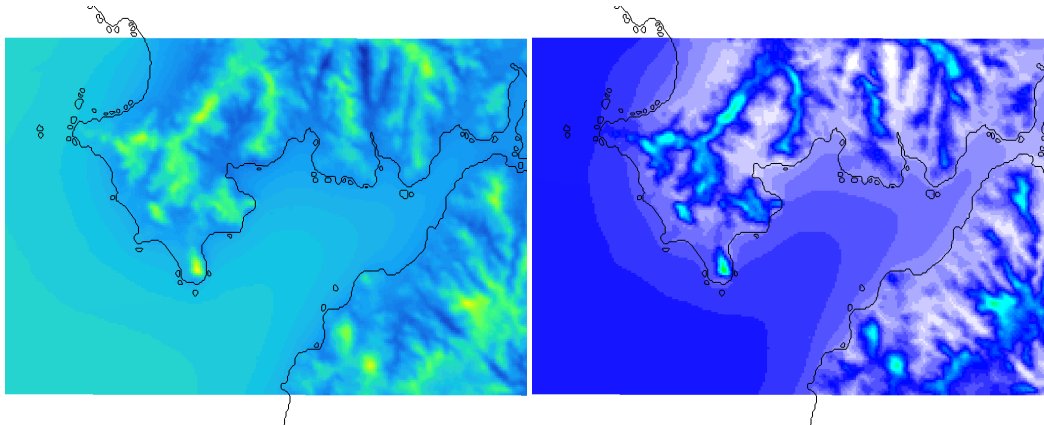
Altura = 20m



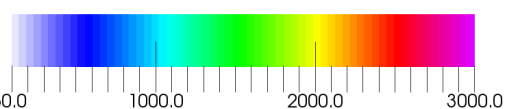
Altura = 40m



Altura = 60m

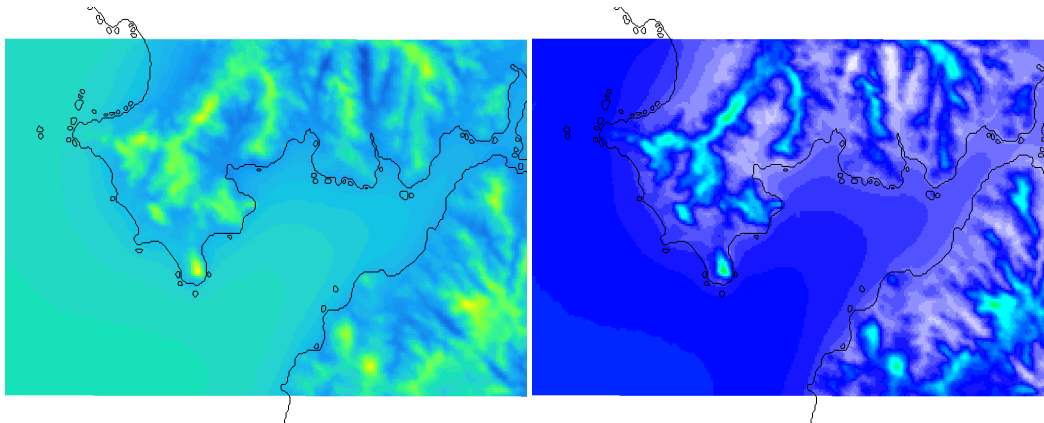


Mean Wind Speed (m/s)

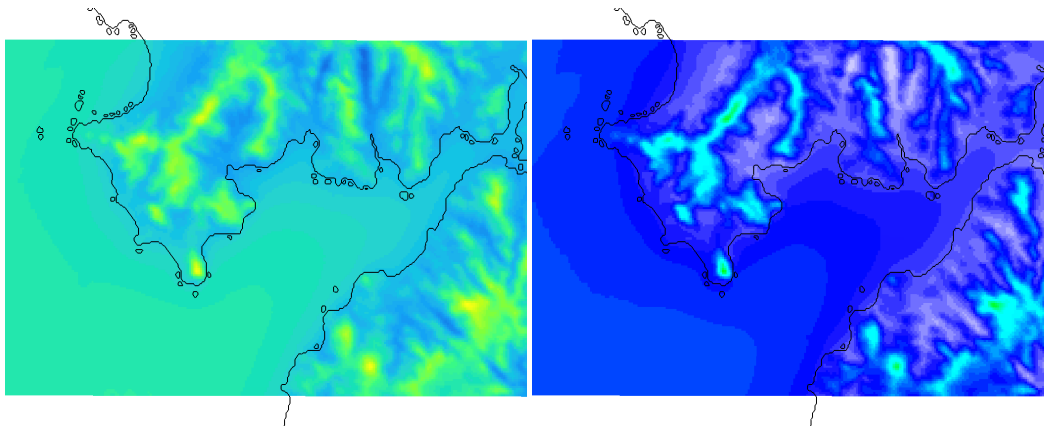


Power Density (W/m²)

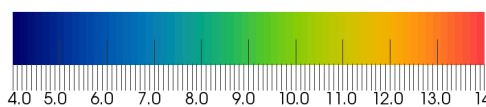
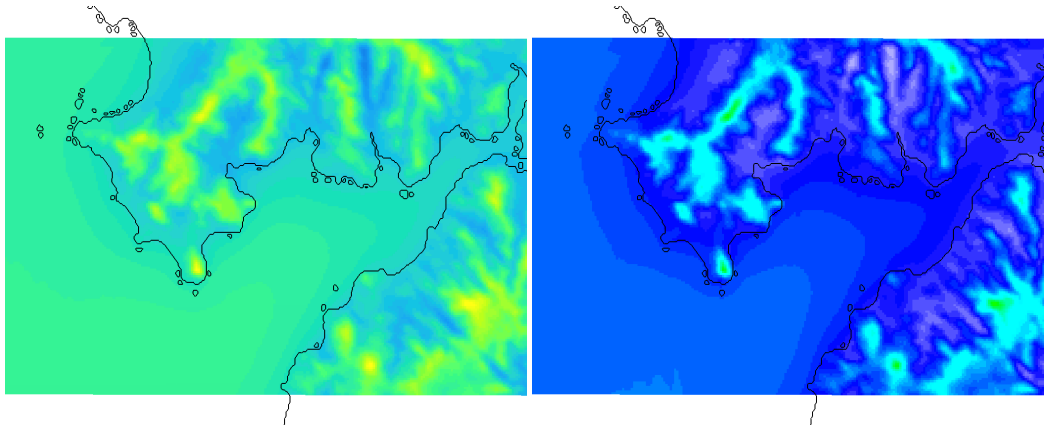
Altura = 80m



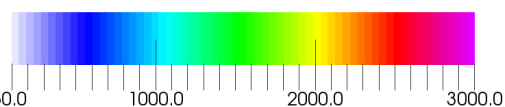
Altura = 100m



Altura = 120m

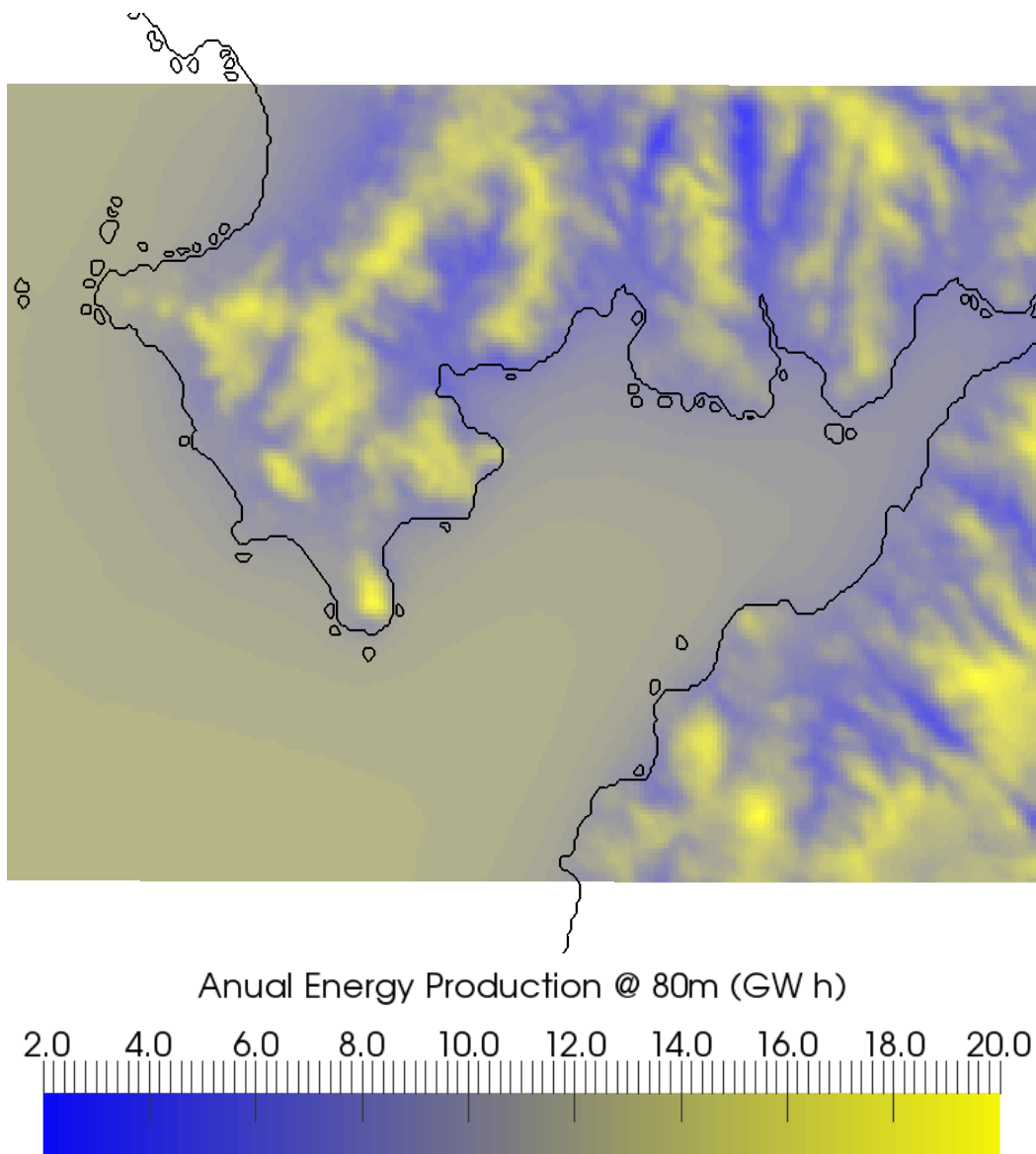


Mean Wind Speed (m/s)

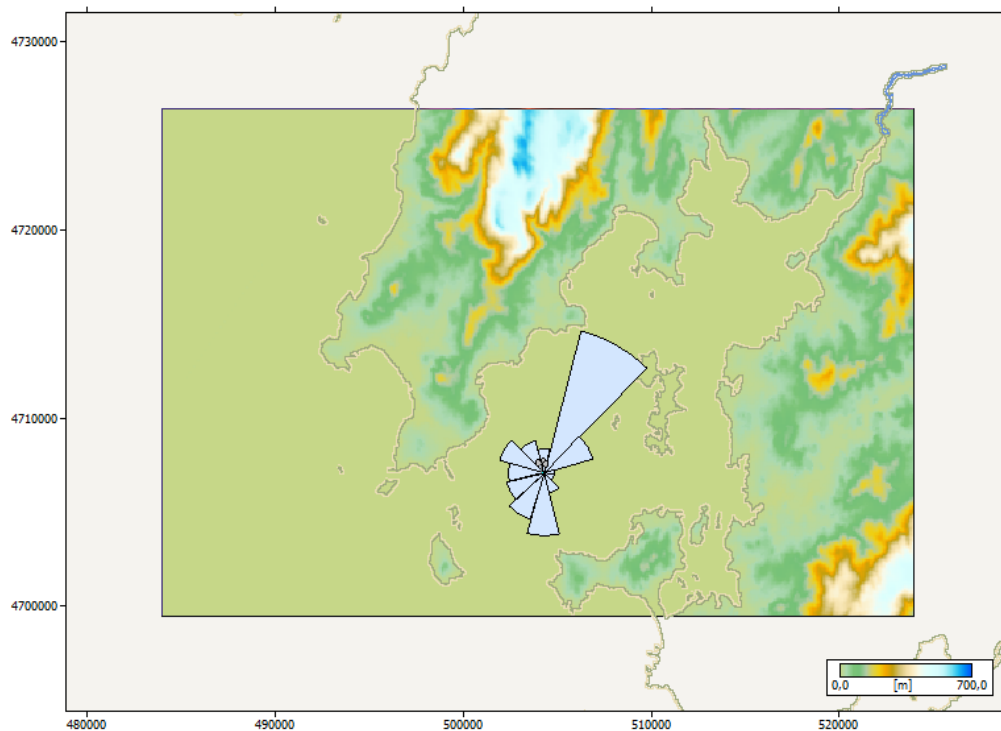


Power Density (W/m²)

A.11.2. Producción media anual de energía

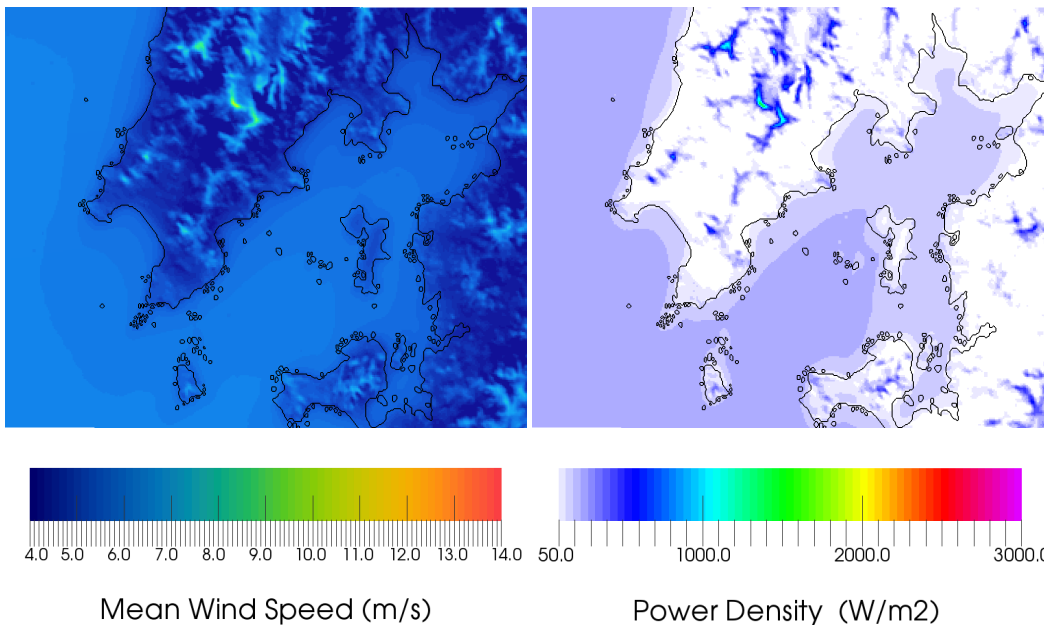


A.12. Arousa

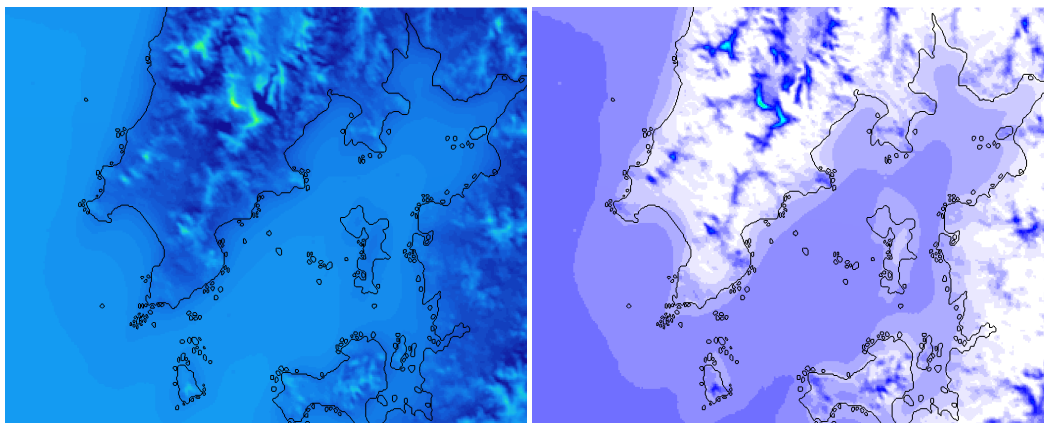


A.12.1. Velocidad media anual y densidad de potencia

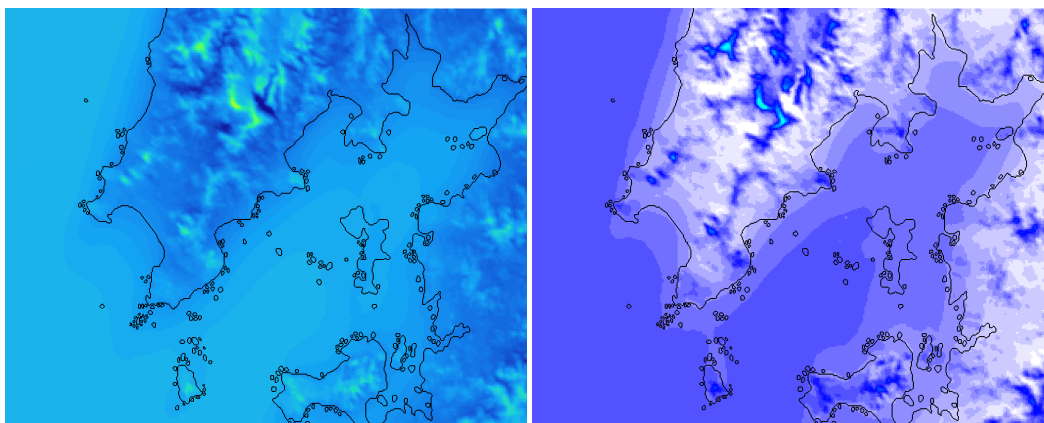
Altura = 10m



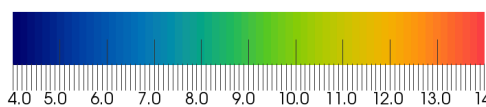
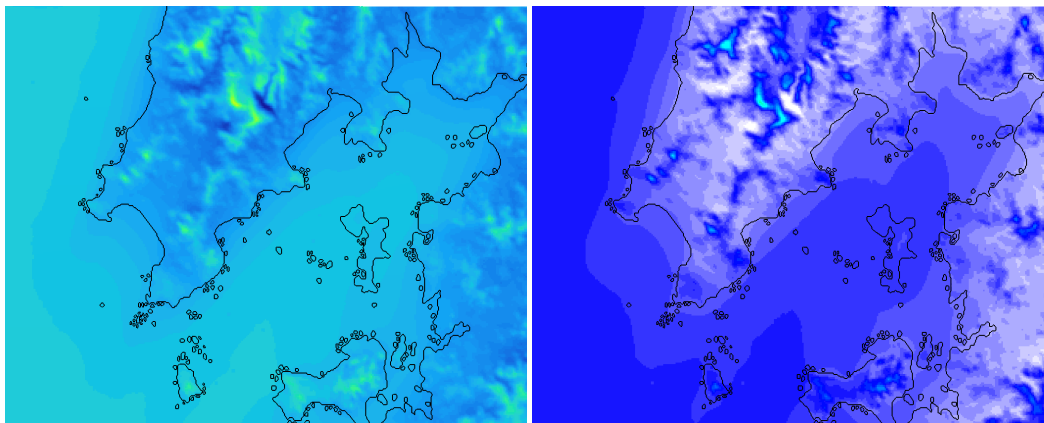
Altura = 20m



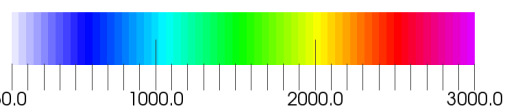
Altura = 40m



Altura = 60m

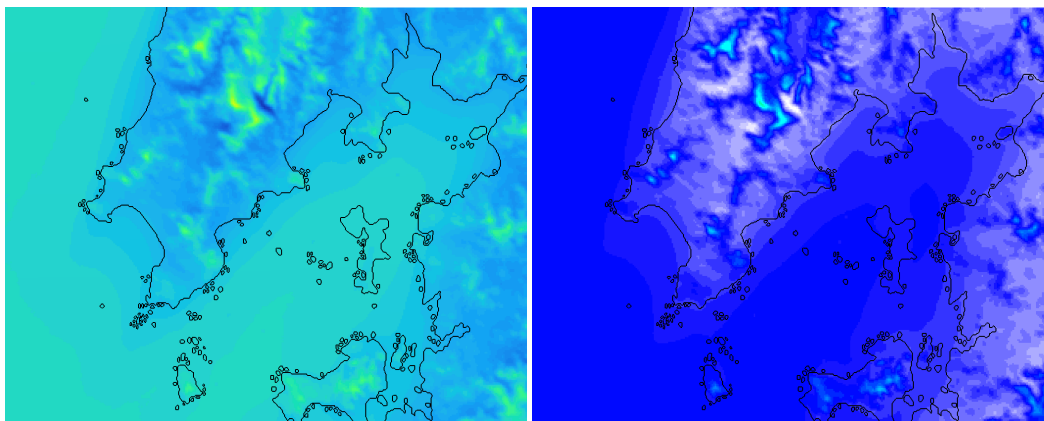


Mean Wind Speed (m/s)

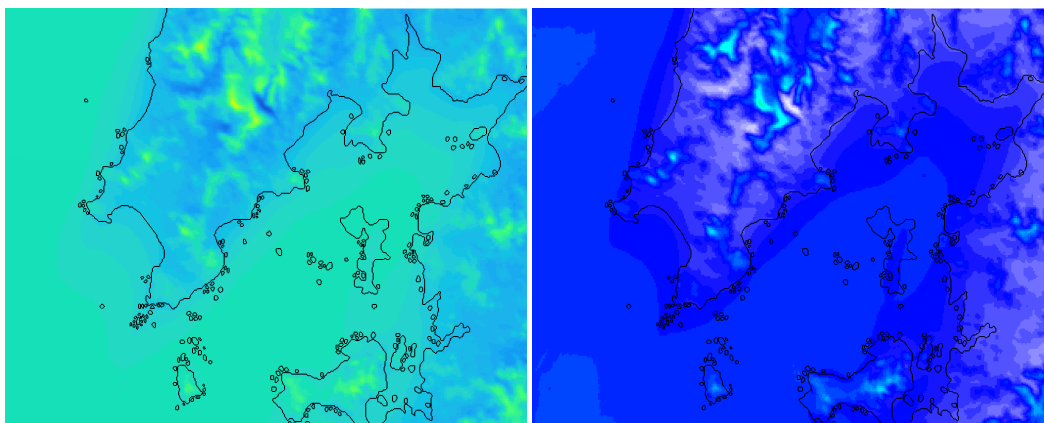


Power Density (W/m²)

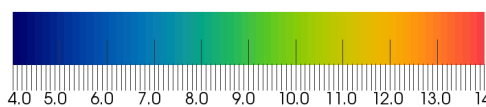
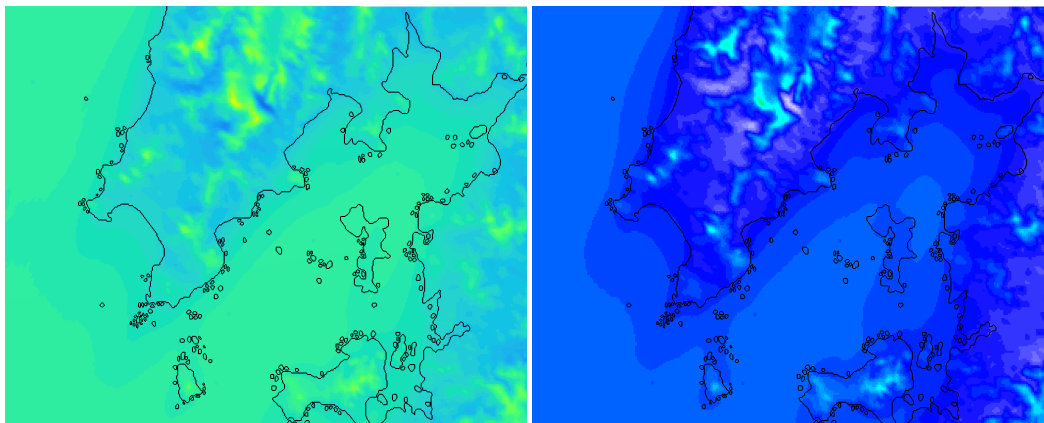
Altura = 80m



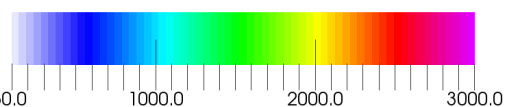
Altura = 100m



Altura = 120m

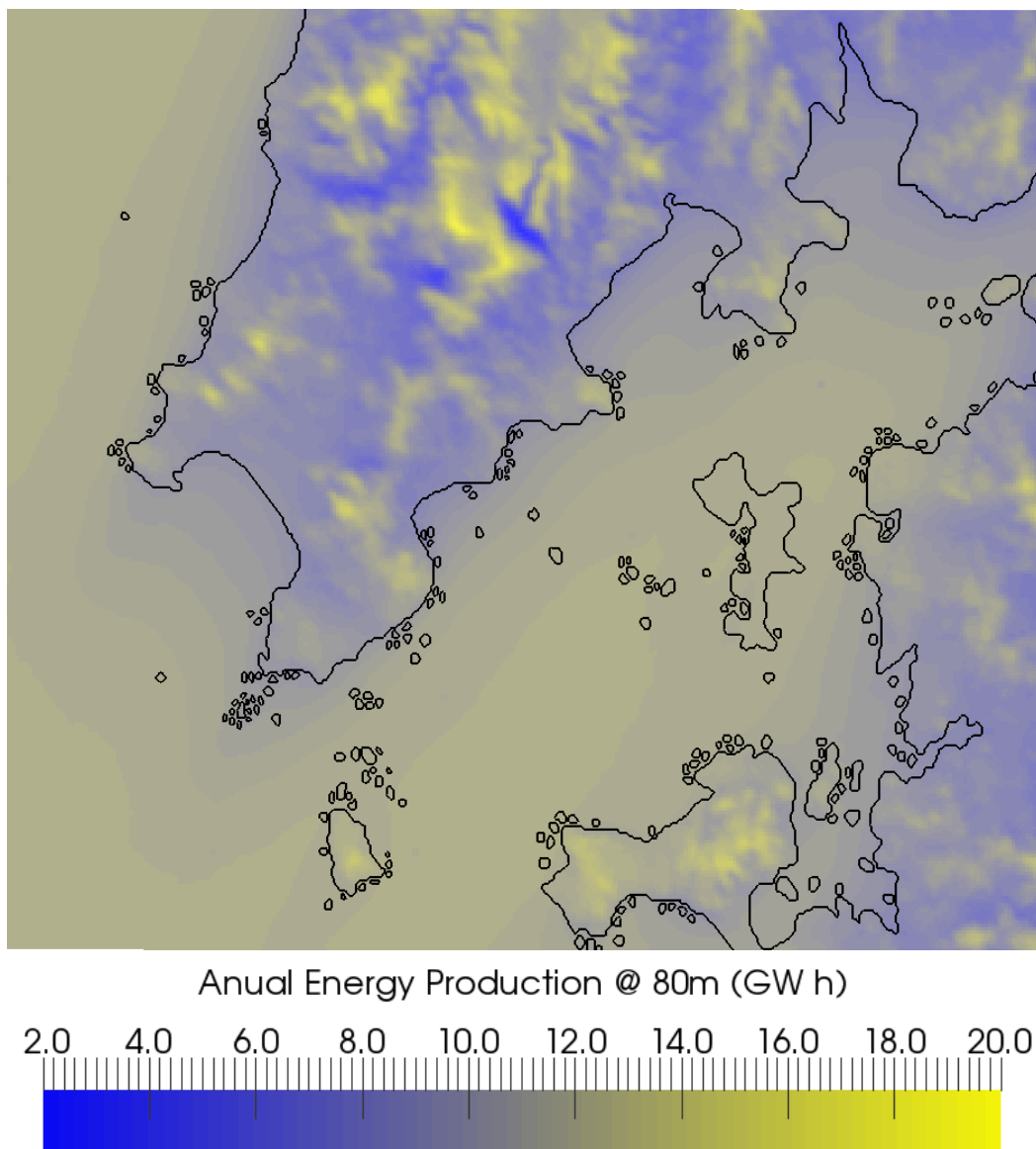


Mean Wind Speed (m/s)

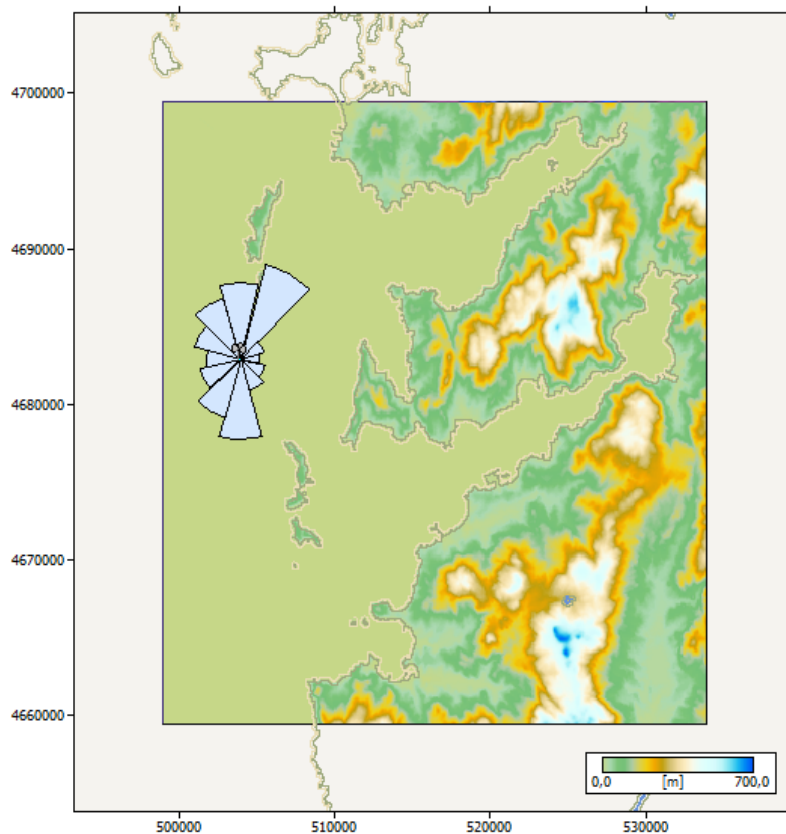


Power Density (W/m2)

A.12.2. Producción media anual de energía

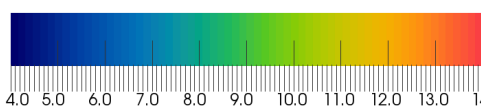
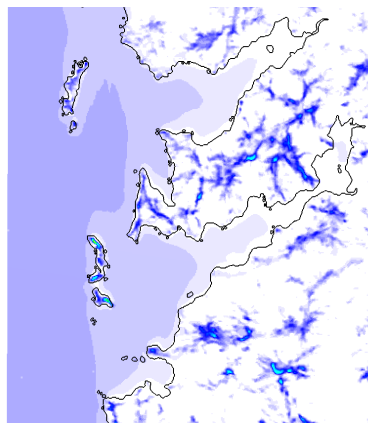
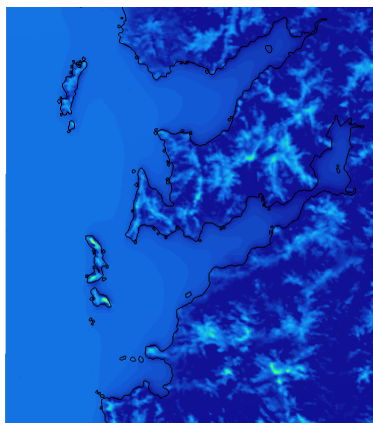


A.13. Vigo - Pontevedra

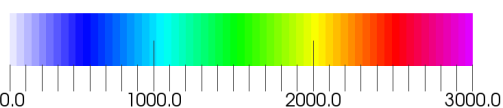


A.13.1. Velocidad media anual y densidad de potencia

Altura = 10m

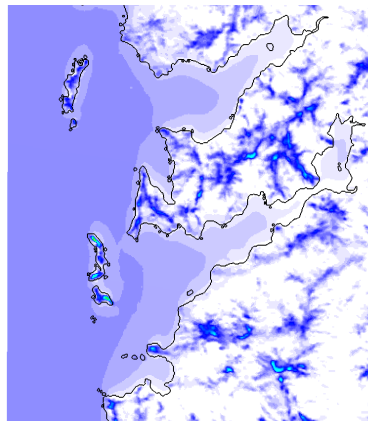
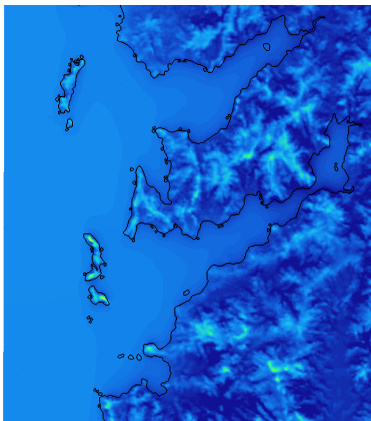


Mean Wind Speed (m/s)

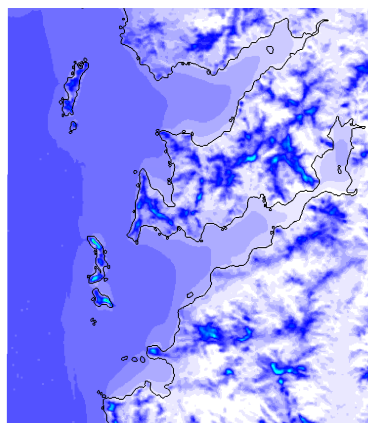
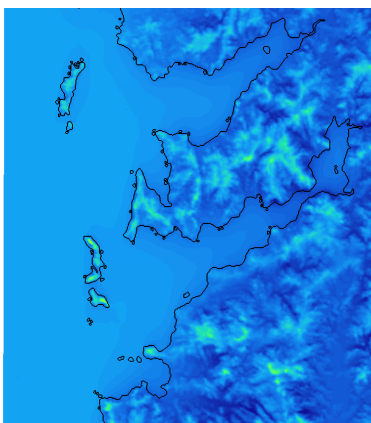


Power Density (W/m2)

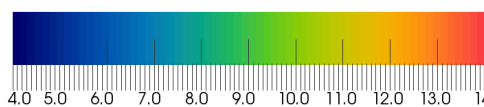
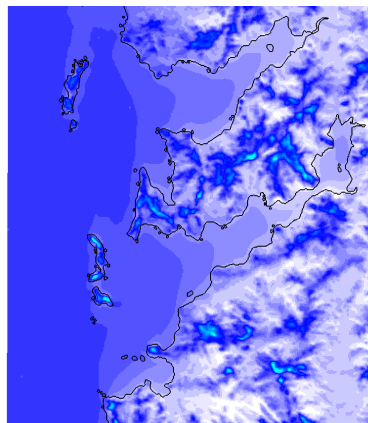
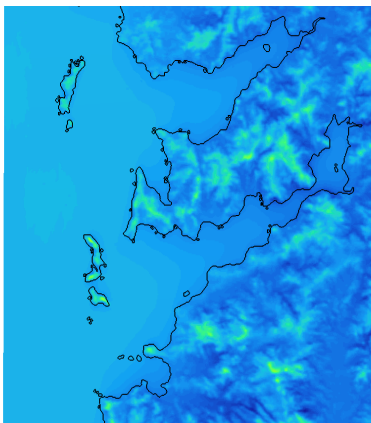
Altura = 20m



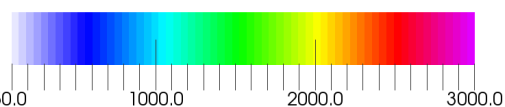
Altura = 40m



Altura = 60m

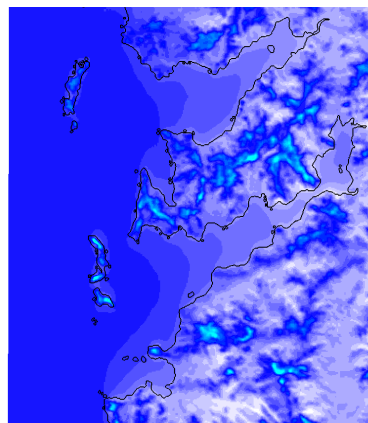
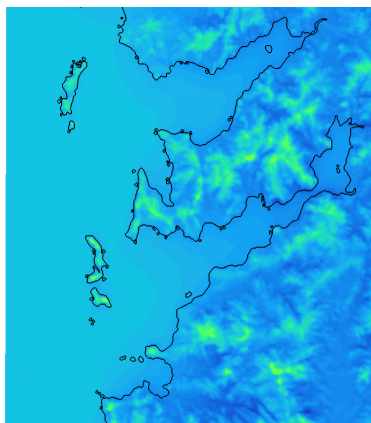


Mean Wind Speed (m/s)

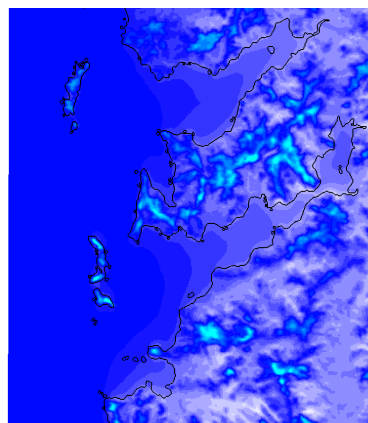
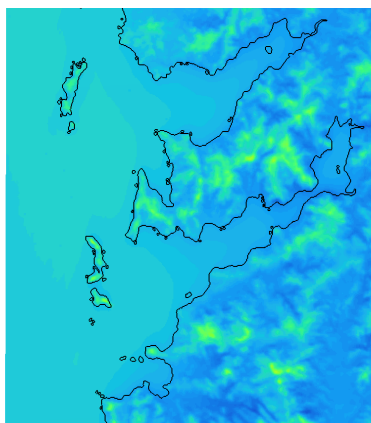


Power Density (W/m2)

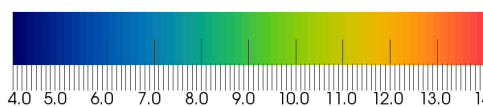
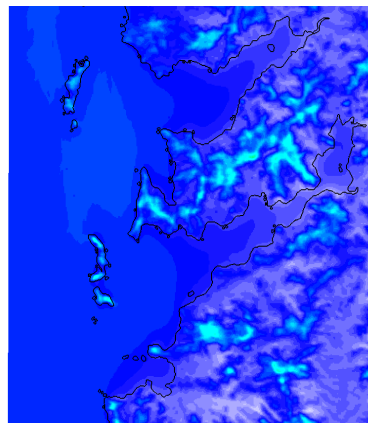
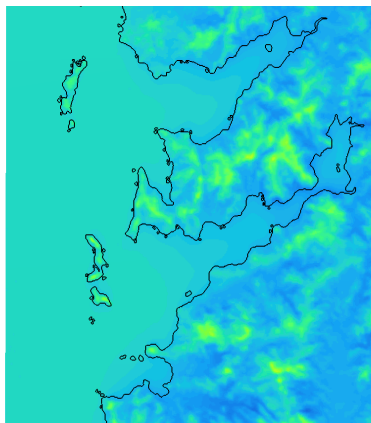
Altura = 80m



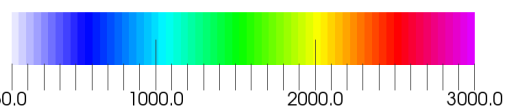
Altura = 100m



Altura = 120m

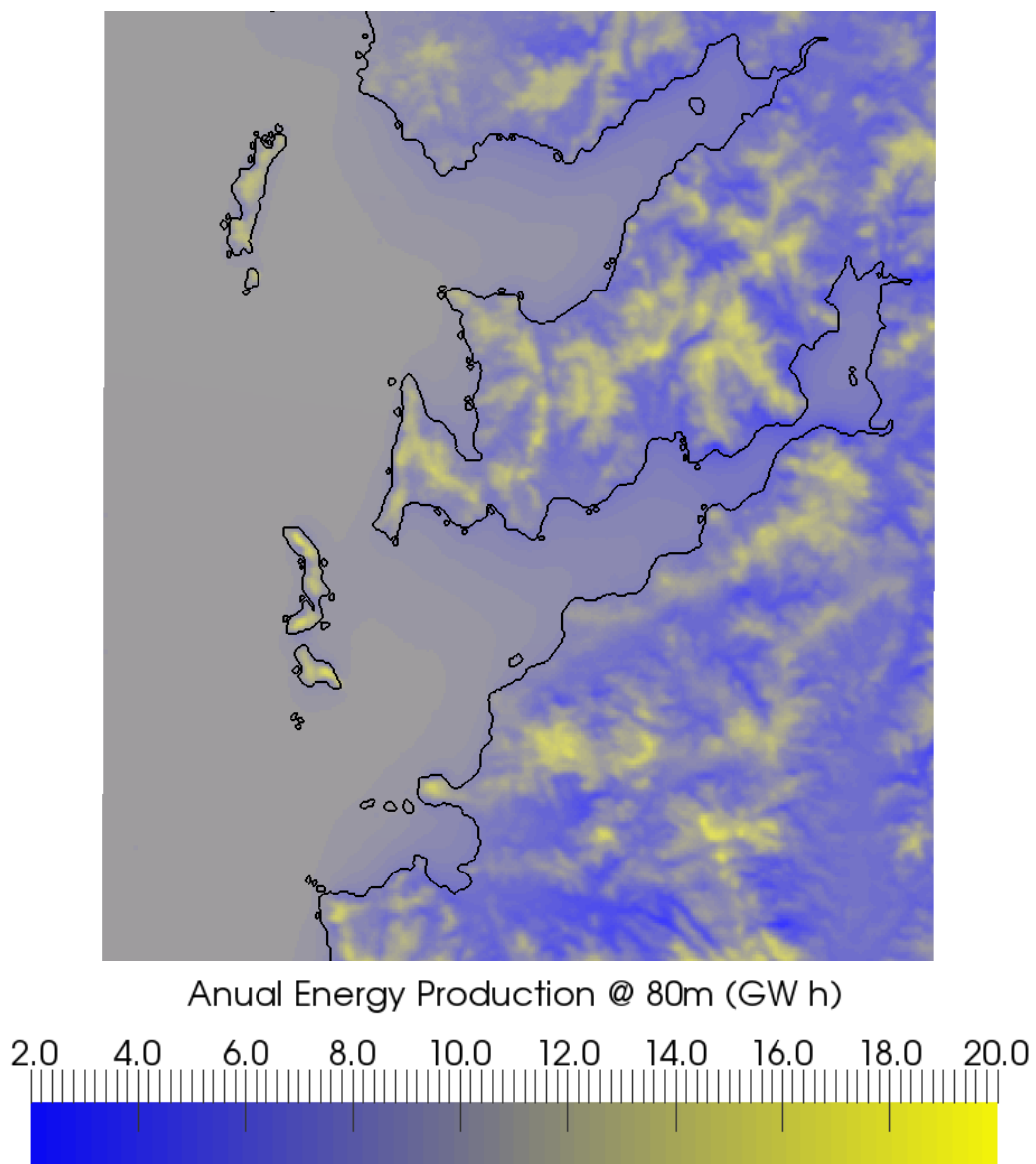


Mean Wind Speed (m/s)

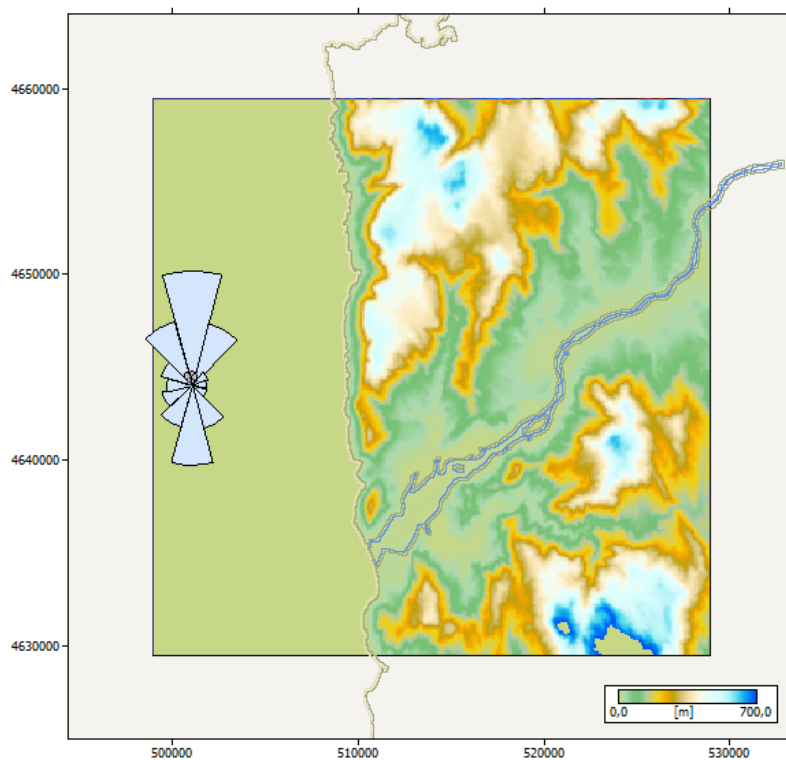


Power Density (W/m²)

A.13.2. Producción media anual de energía

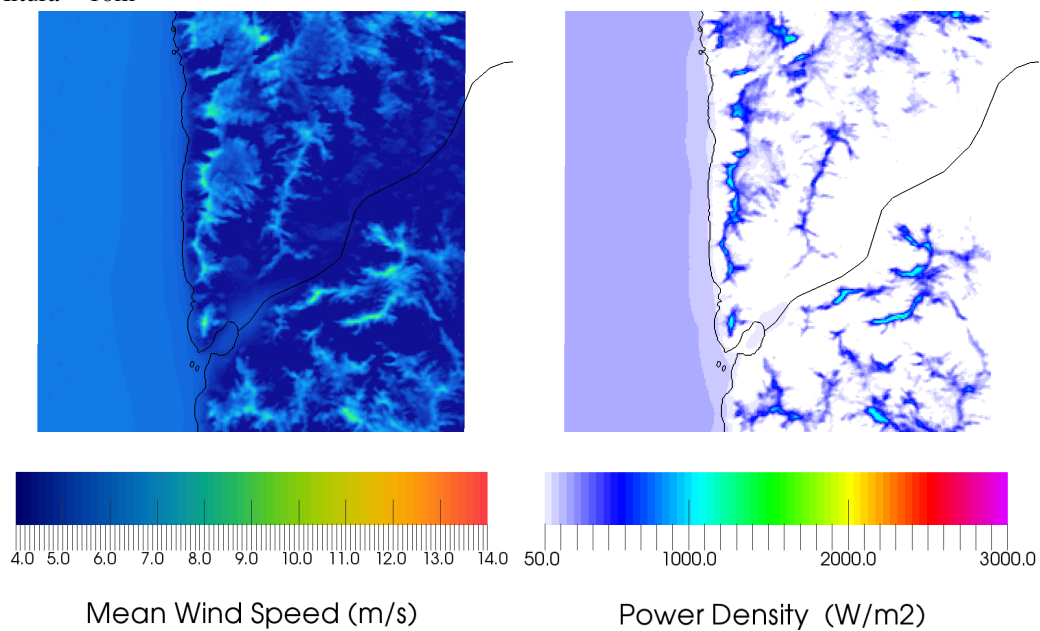


A.14. A Guarda

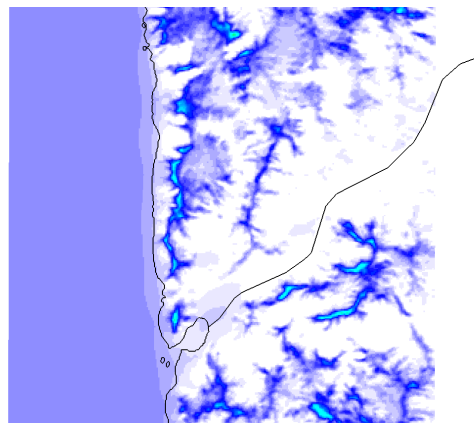
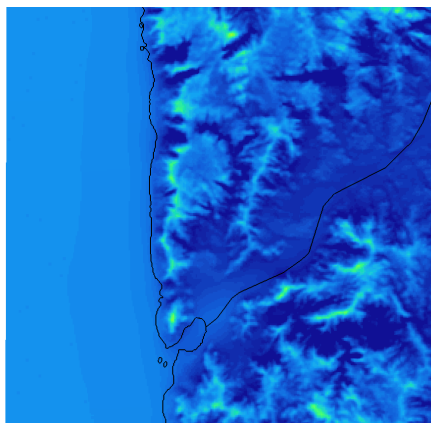


A.14.1. Velocidad media anual y densidad de potencia

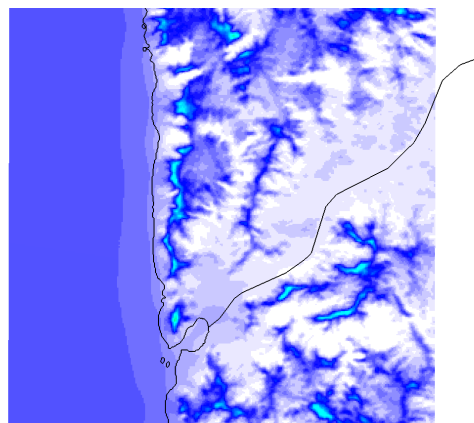
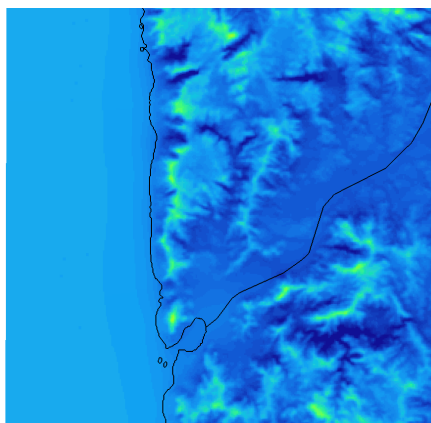
Altura = 10m



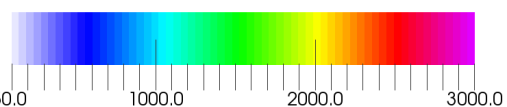
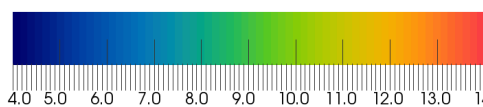
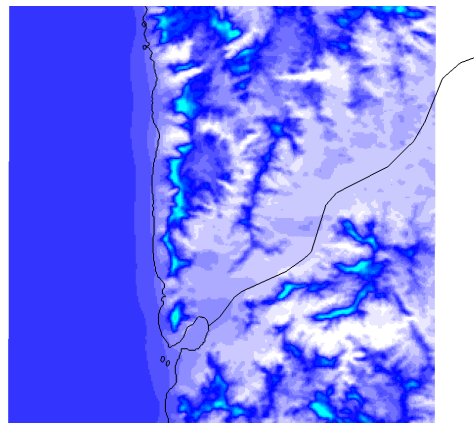
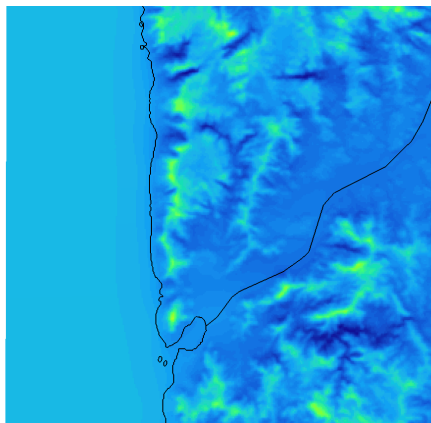
Altura = 20m



Altura = 40m



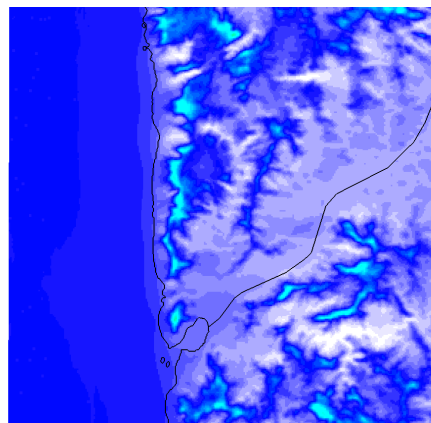
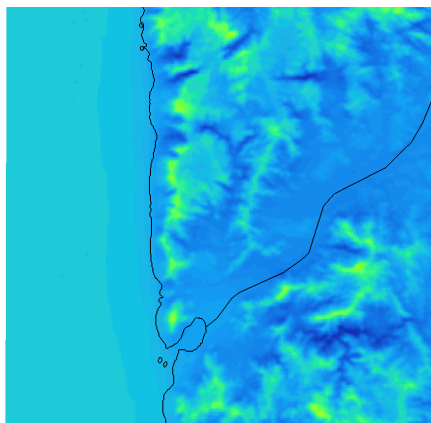
Altura = 60m



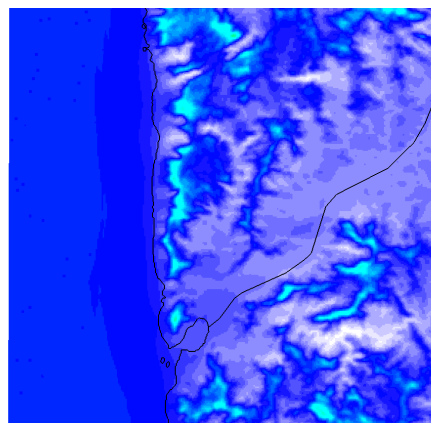
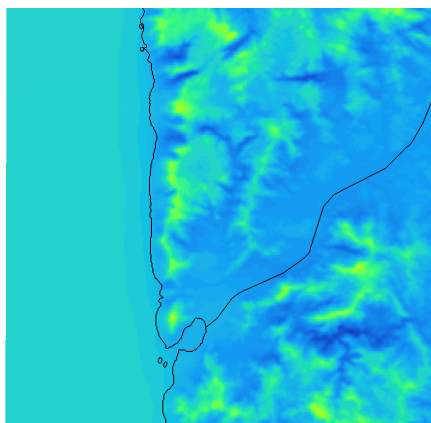
Mean Wind Speed (m/s)

Power Density (W/m²)

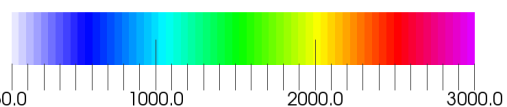
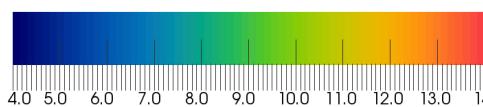
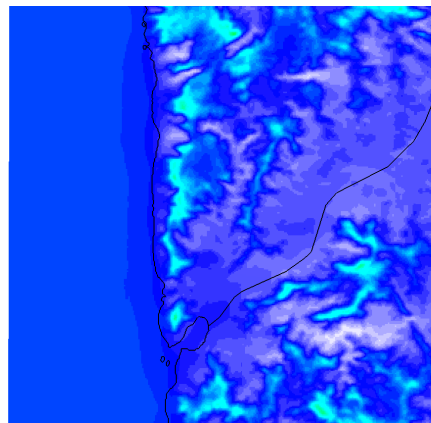
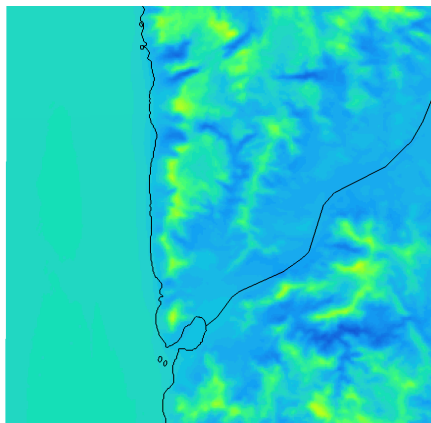
Altura = 80m



Altura = 100m



Altura = 120m



Mean Wind Speed (m/s)

Power Density (W/m²)

A.15. Base de datos

Los parámetros calculados se presentan en 98 archivos en formato netCDF, uno por cada región y altura. El contenido de los archivos netCDF se detalla los siguientes cuadros:

a. Parámetros generales:

Formato	netCDF
Convención	CF-1.5
Proyección	UTM-29N

b. Variables:

Variable	long_name	Unidades	Descripción
x	"x coordinate of projection"	<i>m</i>	Coordenada x en UTM-29N
y	"y coordinate of projection"	<i>m</i>	Coordenada y en UTM-29N
lat	"latitude"	<i>deg</i>	Latitud
lon	"longitude"	<i>deg</i>	Longitud
mws	"Mean Wind Speed"	ms^{-1}	Velocidad media anual del viento
powdens	"Power Density"	Wm^{-2}	Densidad de potencia
weibA	"Weibull A parameter"	ms^{-1}	Parámetro de escala de Weibull
weibK	"Weibull K parameter"	—	Parámetro de forma de Weibull
aep	"Annual Energy Production"	<i>Wh</i>	Producción media anual de energía a 80m
topo	"Elevation"	<i>m</i>	Topografía
wdfs*	"Wind Direction Frequency"	—	Frecuencia de la dirección del viento por sector

Se adjuntan 12 variables "wdfs*", una por cada sector de dirección (0, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300 y 330 grados)

B. Anexo II: Verificación

Para la validación de los resultados obtenidos con el modelo WAsP se utilizaron los datos meteorológicos registrados por la red de estaciones meteorológicas de MeteoGalicia.

Una vez seleccionadas las estaciones disponibles dentro de cada uno de los dominios de cálculo, se extrajeron las series temporales tanto para el viento medio como para la dirección del mismo y se comparó con los resultados obtenidos del modelo WasP.

En la siguiente tabla se puede observar el listado de estaciones para cada uno de los dominios de cálculo.

DOMINIO	ESTACIÓN
VIVEIRO	Borreiros (Viveiro)
VIVEIRO	Burela (Burela)
VIGOPON	Vigo-Campus (Vigo)
VIGOPON	Illas Cíes (Vigo)
VIGOPON	Ons (Bueu)
VIGOPON	Sanxenxo (Sanxenxo)
VALDOVINHO	Punta Candieira (Cedeira)
VALDOVINHO	Aldea Nova (Narón)
RIBADEO	Pedro Murías (Ribadeo)
ORTIGUEIRA	Cariño (Cariño)
MUXIA	Camariñas (Camariñas)
MUXIA	A Gándara (Vimianzo)
MUROSNOIA	Lira (Carnota)
LAXE	Malpica (Malpica)
CORUNHA	Coruña Dique (Coruña)
CORUNHA	CIS Ferrol (Ferrol)
BURELA	Burela (Burela)
ARTEIXO	Punta Langosteira (Arteixo)
AROUSA	Corrubedo (Ribeira)
AROUSA	Corón (Vilanova de Arousa)
AROUSA	Sálvora (Ribeira)
AROUSA	A Lanzada (O Grove)
AGUARDA	Monte Aloia (Tui)
AGUARDA	Castro Vicaludo (Oia)

Para cada estación se extrajo primeramente la serie temporal del viento medio y con ella se hizo el cálculo de ese viento medio para todo el periodo de estudio. Ese valor se comparó para cada una de las estaciones seleccionadas con el valor obtenido por el modelo WasP en el punto de malla más próximo a las coordenadas de esa estación, siempre teniendo en cuenta que ese punto estuviese en tierra, no en el mar.

En la siguiente figura se puede ver el resultado para cada estación donde en el eje de ordenadas están los valores observados y en el eje de abscisas los valores obtenidos por el modelo (Figura 13).

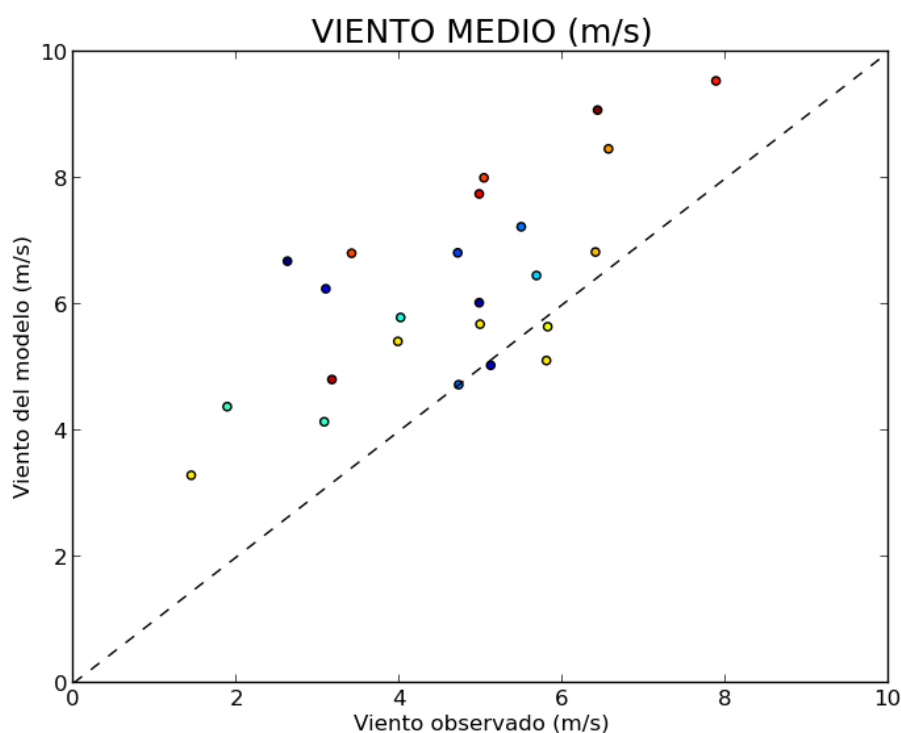


Figura 13: Viento medio Observaciones vs. Modelo

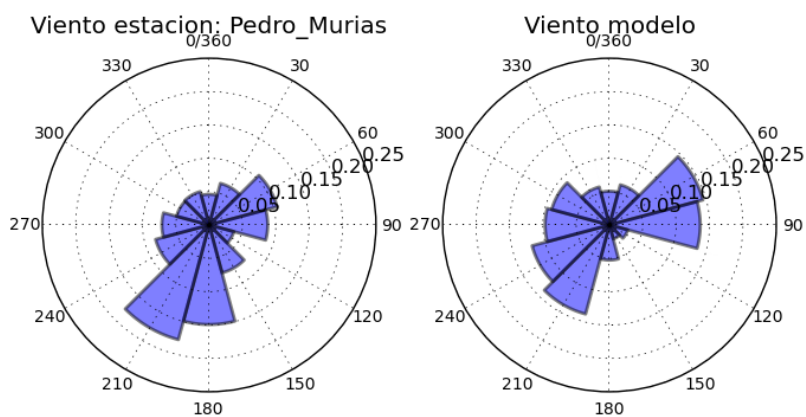
Seguidamente, con los datos de la dirección del viento se representaron las rosas de vientos para cada estación con la frecuencia de aparición de cada dirección estimada por el WasP y los registrados en las estaciones. Se dividió en 12 sectores:

SECTOR 1	$>345^{\circ} \text{ \& \< } 15^{\circ}$
SECTOR 2	$>15^{\circ} \text{ \& \< } 45^{\circ}$
SECTOR 3	$>45^{\circ} \text{ \& \< } 75^{\circ}$
SECTOR 4	$>75^{\circ} \text{ \& \< } 105^{\circ}$
SECTOR 5	$>105^{\circ} \text{ \& \< } 135^{\circ}$
SECTOR 6	$>135^{\circ} \text{ \& \< } 165^{\circ}$
SECTOR 7	$>165^{\circ} \text{ \& \< } 195^{\circ}$
SECTOR 8	$>195^{\circ} \text{ \& \< } 225^{\circ}$
SECTOR 9	$>225^{\circ} \text{ \& \< } 255^{\circ}$
SECTOR 10	$>255^{\circ} \text{ \& \< } 285^{\circ}$
SECTOR 11	$>285^{\circ} \text{ \& \< } 315^{\circ}$
SECTOR 12	$>315^{\circ} \text{ \& \< } 345^{\circ}$

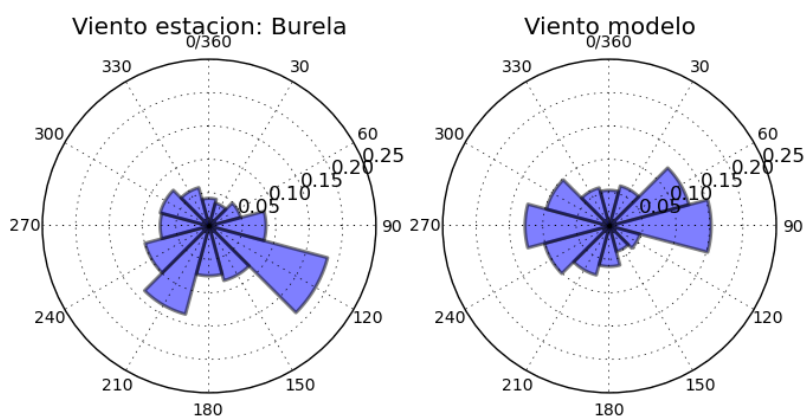
Como se puede observar en las gráficas, los resultados del WasP tienden a sobreestimar el viento medio en algunas estaciones, aunque no por más de 2m/s en los peores casos. Mientras, para la dirección del viento, salvo en localidades puntuales, la dirección observada suele estar en sintonía con los datos obtenidos por el modelo.

B.1. Resultados de la validacion

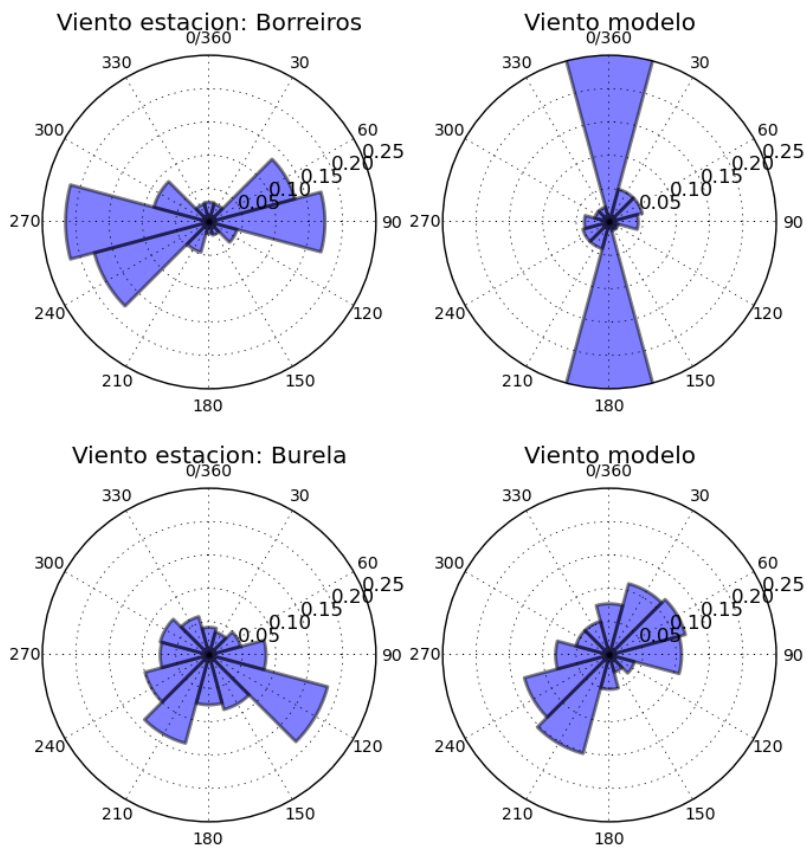
B.1.1. Ribadeo



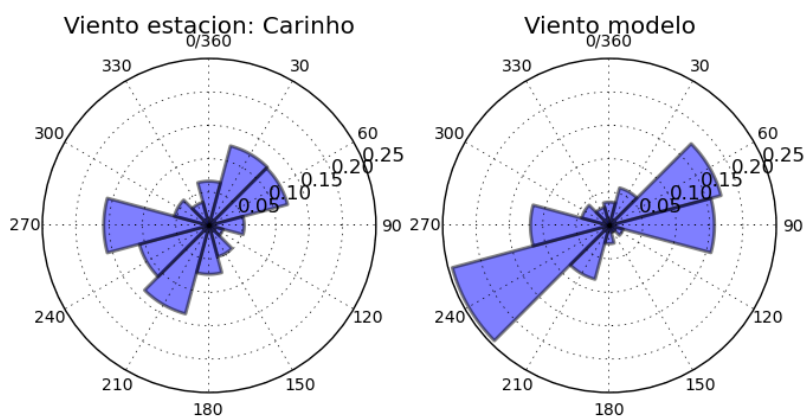
B.1.2. Burela



B.1.3. Viveiro

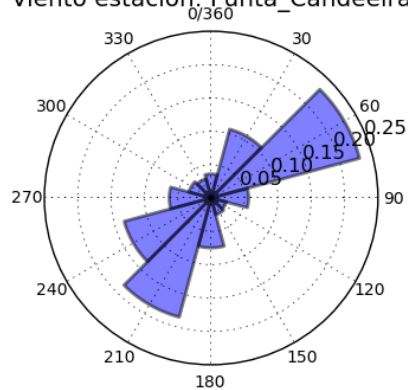


B.1.4. Ortigueira

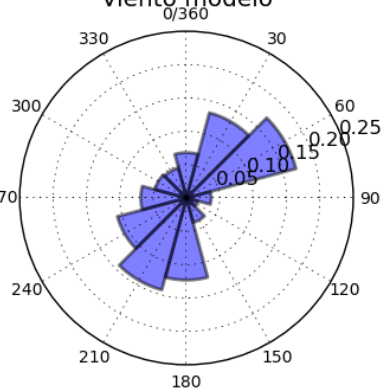


B.1.5. Valdoviño

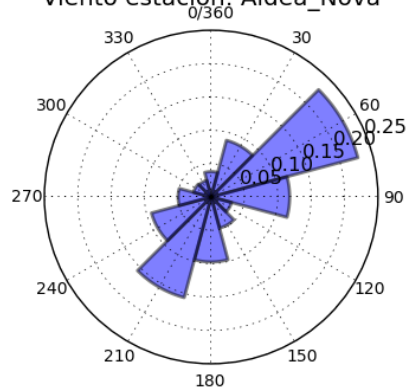
Viento estacion: Punta_Candeeira



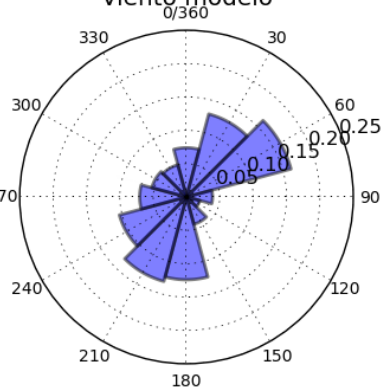
Viento modelo



Viento estacion: Aldea_Nova

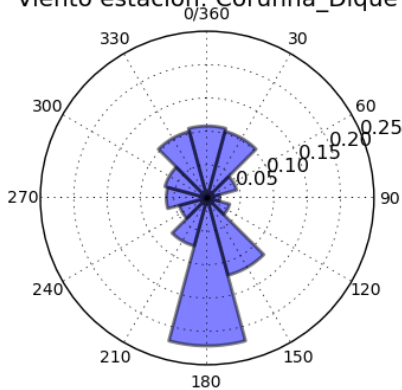


Viento modelo

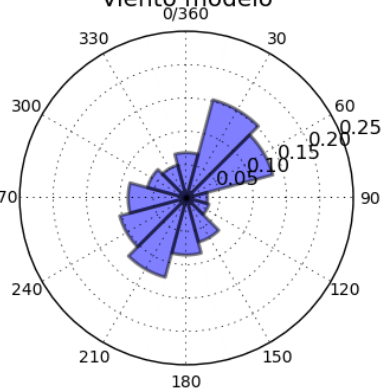


B.1.6. A Coruña - Ferrol

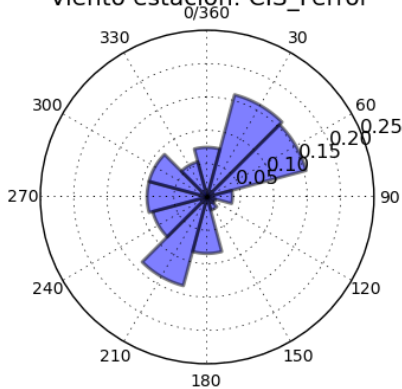
Viento estacion: Corunha_Dique



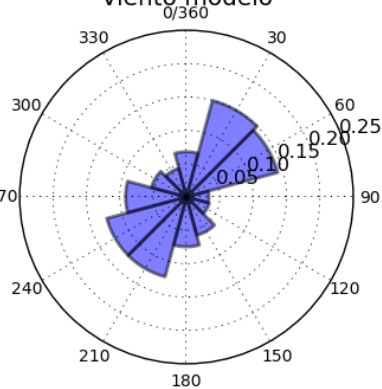
Viento modelo



Viento estacion: CIS_Ferrol

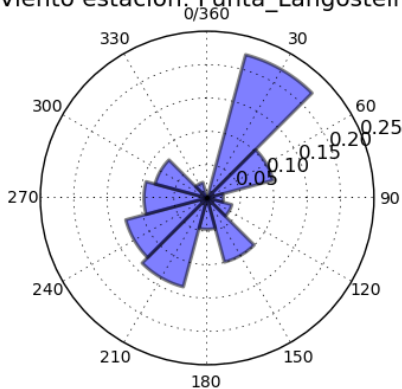


Viento modelo

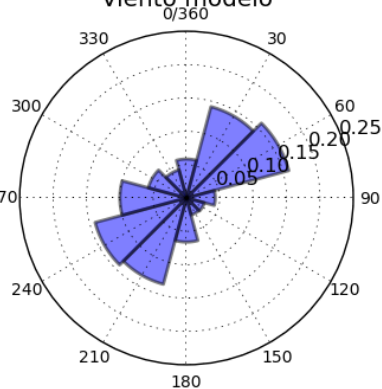


B.1.7. Arteixo

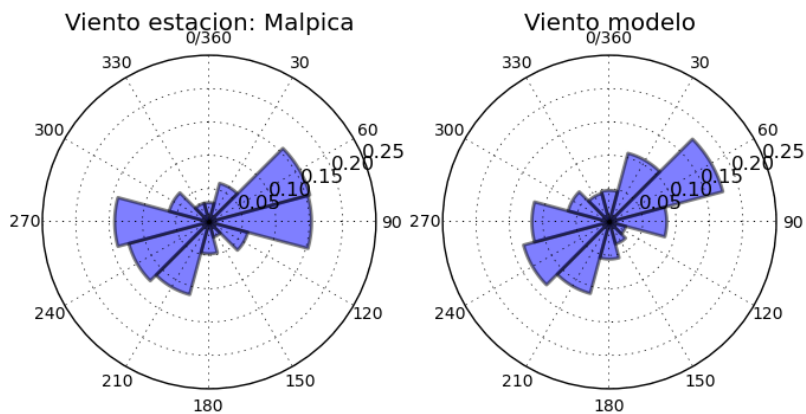
Viento estacion: Punta_Langosteira



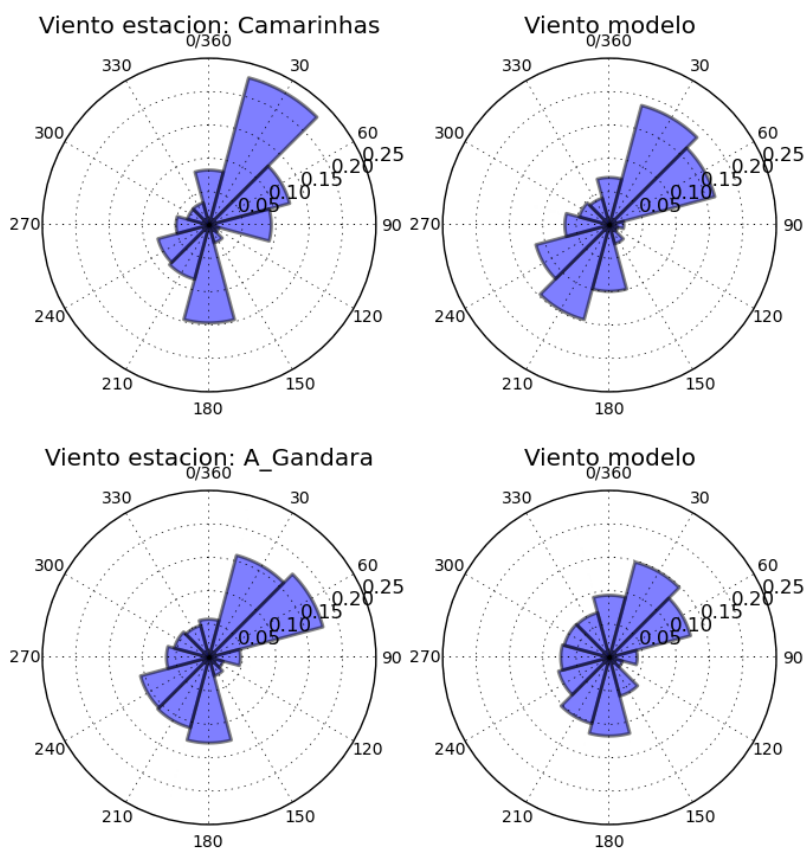
Viento modelo



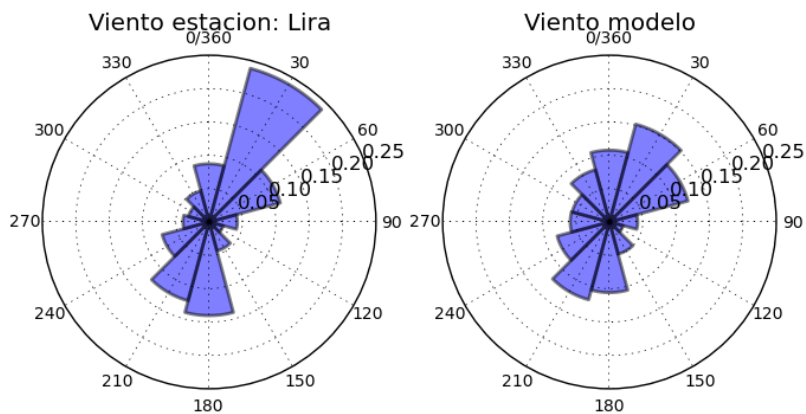
B.1.8. Laxe



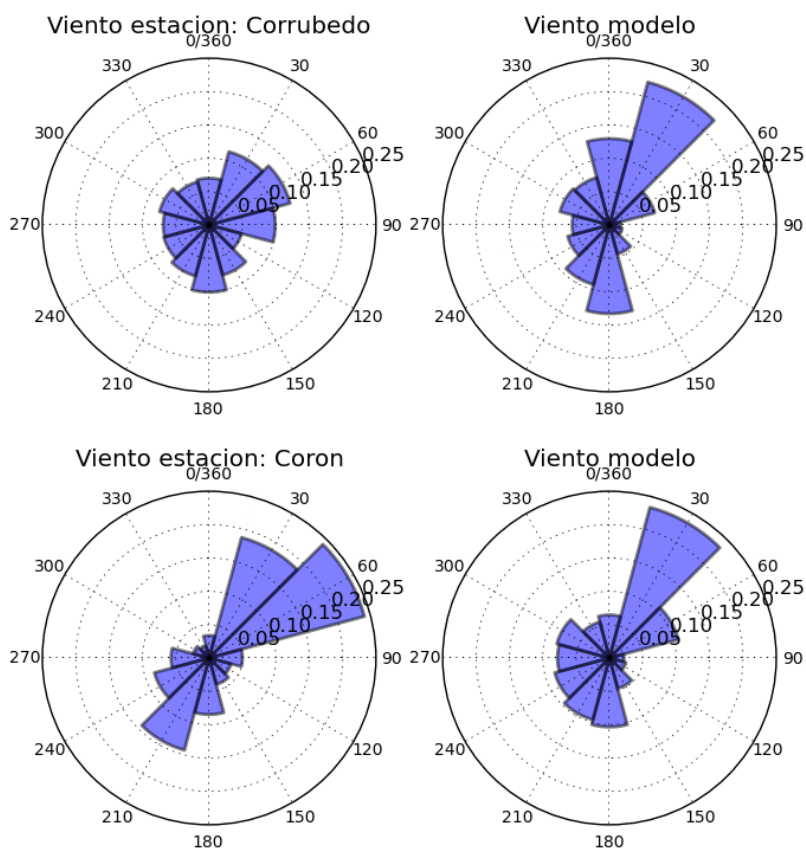
B.1.9. Muxia

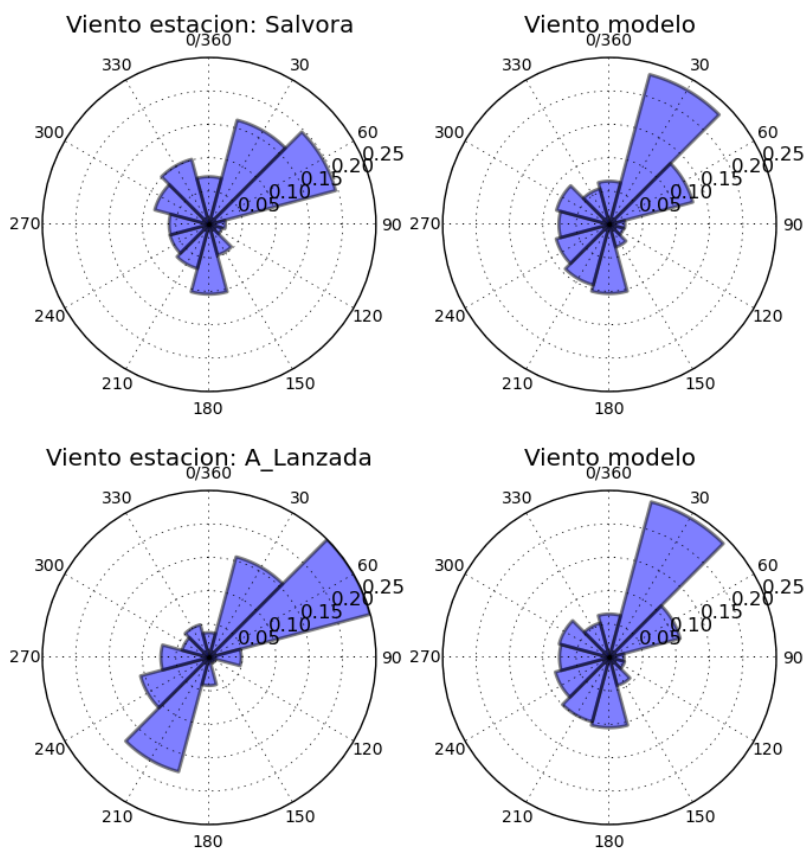


B.1.10. Muros - Noia

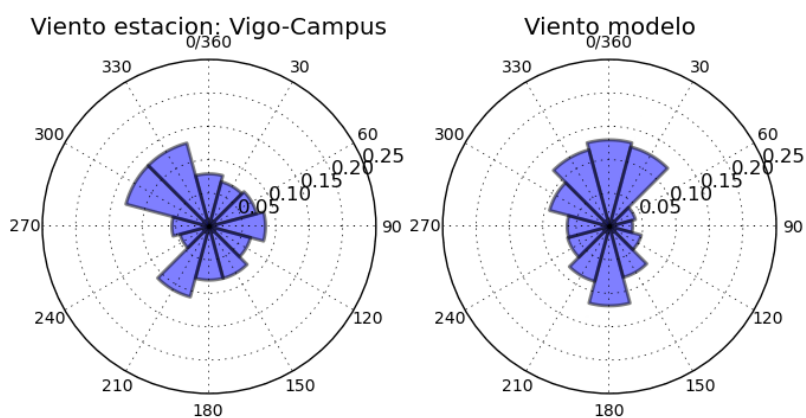


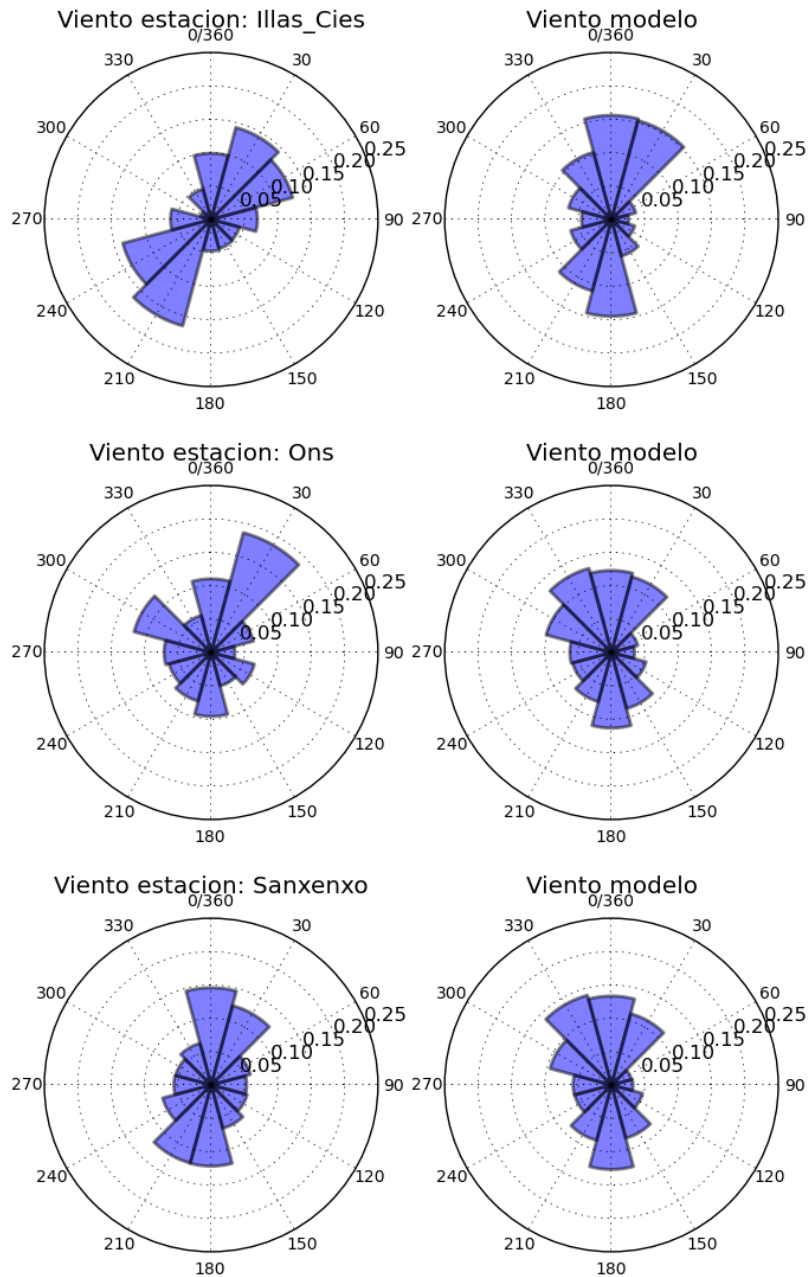
B.1.11. Arousa





B.1.12. Vigo - Pontevedra





B.1.13. A Guarda

