

En el marco de la elaboración del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático en
Ciudades e Infraestructuras (NAP Ciudades)

Vientos en Uruguay

Variabilidad observada, tendencias
y proyecciones bajo escenarios de
cambio climático

Presenta: Dr. Marcelo Barreiro.
Departamento de Ciencias de la Atmósfera,
Instituto de Física - Facultad de Ciencias (UDEAR).

Fernando Arizmendi, Romina Trinchin
Instituto Uruguayo de Meteorología
Nicolas Diaz

Depto de Ciencias de la Atmósfera, Instituto de
Física, Facultad de Ciencias



FACULTAD DE
CIENCIAS
UDEAR | fciencias.edu.uy















- Trabajo realizado en el marco del Convenio PNUD – Facultad de Ciencias (UdelaR) - Plan Nacional de Adaptación en Ciudades

Duración: 12/2020-06/2021

Cambio climático y ciudades

- El cambio climático tiene impactos profundos sobre la infraestructura y servicios urbanos y por ende en las actividades socio-económicas que allí se desarrollan.
- Para las ciudades los riesgos climáticos más importantes son tendencias y extremos de temperatura, aumento del nivel del mar costero, sequías, inundaciones rápidas y vientos extremos (IPCC AR5).

Climate-related drivers of impacts									Level of risk & potential for adaptation		
 Warming trend	 Extreme temperature	 Drying trend	 Extreme precipitation	 Snow cover	 Damaging cyclone	 Sea level	 Ocean acidification	 Flooding	 <p>Potential for additional adaptation to reduce risk</p> <p>Risk level with high adaptation</p> <p>Risk level with current adaptation</p>		
Key risk	Adaptation issues & prospects					Climatic drivers		Timeframe	Risk & potential for adaptation		
Modal urban (medium confidence) [8.2, 8.3, 8.4]	Climate change will have profound impacts on urban infrastructure systems and services, the built environment, and ecosystem services and hence on urban economies and populations. This could exacerbate existing social, economic, and environmental drivers of risk, especially for vulnerable groups who lack essential services. An appropriate urban governance frame and coordinated urban adaptation focused on the built environment, improved infrastructure, and services and risk reduction has significant potential for reducing key climate risks in the medium term and especially in the long term.							Present Near term (2030–2040) Long term 2°C (2080–2100) 4°C			

Cambio climático y ciudades

2019-2020 - Convenio MVOTMA-FCIEN en el marco de NAP-Costas y NAP-Ciudades

- Se realizó un informe exhaustivo sobre la variabilidad climática observada en el país y las proyecciones futuras bajo distintos escenarios de cambio climático, centrado principalmente en temperatura y precipitación.
Disponible en página web del MVOTMA

Variabilidad observada y proyección del clima en Uruguay

<https://www.mvotma.gub.uy/napcostas-publicaciones/item/10013885-variabilidad-observada-y-proyeccion-del-clima-en-uruguay>

El presente trabajo complementa el anterior enfocando en vientos para tener una visión más completa de las amenazas climáticas que enfrenta el país y poder incorporar esta información en el ordenamiento territorial y planificación en ciudades.

Algunos antecedentes

IMFIA-FING

Línea de trabajo en energía eólica en el IMFIA

- Mapa eólico de Uruguay (Cataldo 2009)
- Herramientas de predicción de muy corta y corta duración de la energía eólica (A. Gutierrez 2011) → predicción de energía eólica

Línea de trabajo en eventos intensos de viento en el IMFIA

- Durañona (2016) concluye que la mayoría de los eventos de viento intenso ocurren en situaciones de actividad convectiva intensa (p.ej. CCM o líneas de turbonada) y no son de escala sinóptica.
- Durañona y Cataldo (2019): mayoría de las fallas en las líneas de transmisión eléctrica Palmar-Mdeo coinciden con el pasaje de tormentas severas. En el noroeste del país 80% de las fallas son por tormentas convectivas, mientras que en el sureste la mayoría son debido al pasaje de ciclones intensos.

Algunos antecedentes

Departamento de Ciencias de la Atmósfera:

- Línea de trabajo en variabilidad climática intraestacional e interanual. Cambios en los vientos aportan humedad para el aumento y predictibilidad de las lluvias, y variaciones de la temperatura.

por ej. Barreiro (2010), Barreiro et al (2014), Barreiro (2017), Renom et al (2010)

- Línea de trabajo sobre interacción costa-océano: vientos e impacto en zona costera

por ej. Manta et al (2020), Trinchin et al (2018)

Algunos Antecedentes

Libro: “El cambio climático en el Río de la Plata” Eds. V. Barros, A. Menedez y G. Nagy.

- Resultado del proyecto *Assessment of Impacts and Adaptations to Climate Change*, START-TWAS-UNEP.

No hay estudios que engloben todo el país sobre la descripción de la variabilidad en diferentes escalas y posibles cambios en los vientos debido al cambio climático

Objetivo

- Describir la variabilidad de los vientos en Uruguay a escala horaria, diaria, estacional y sus tendencias observadas.
- Usar proyecciones de modelos CMIP6 bajo escenarios de cambio climático para inferir posibles futuros cambios en los vientos extremos.
- Se hace foco en 6 localidades: Colonia, Prado, Carrasco, Rocha, Paysandú y Rivera

Estructura de las charlas

- **Introducción**
 - Características de los vientos
 - Fenómenos meteorológicos asociados a vientos intensos en Uruguay
- **Datos utilizados**
 - INUMET, reanálisis atmosféricos
- **Variabilidad y tendencia de los vientos**
 - Escala horaria, diaria, estacional, rachas, usando datos de estaciones meteorológicas y de reanálisis
- **Eventos extremos de viento y su asociación con regímenes de circulación**
- **Proyecciones a futuro**

Estructura de las charlas

- **Introducción**

DÍA 1

- Características de los vientos
- Fenómenos meteorológicos asociados a vientos intensos en Uruguay

- **Datos utilizados**

- INUMET, reanálisis atmosféricos

- **Variabilidad y tendencia de los vientos**

- Escala horaria, diaria, estacional, rachas, usando datos de estaciones meteorológicas y de reanálisis

- **Eventos extremos de viento y su asociación con regímenes de circulación**

DÍA 2

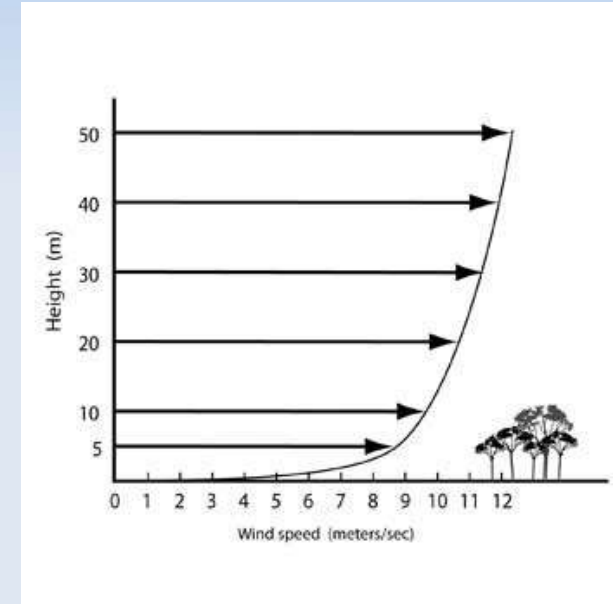
- **Proyecciones a futuro**

Estructura de las charlas

- **Introducción**
 - Características de los vientos
 - Fenómenos meteorológicos asociados a vientos intensos en Uruguay
- **Datos utilizados**
 - INUMET, reanálisis atmosféricos
- **Variabilidad y tendencia de los vientos**
 - Escala horaria, diaria, estacional, rachas, usando datos de estaciones meteorológicas y de reanálisis
- **Eventos extremos de viento y su asociación con regímenes de circulación**
- **Proyecciones a futuro**

Características de los vientos

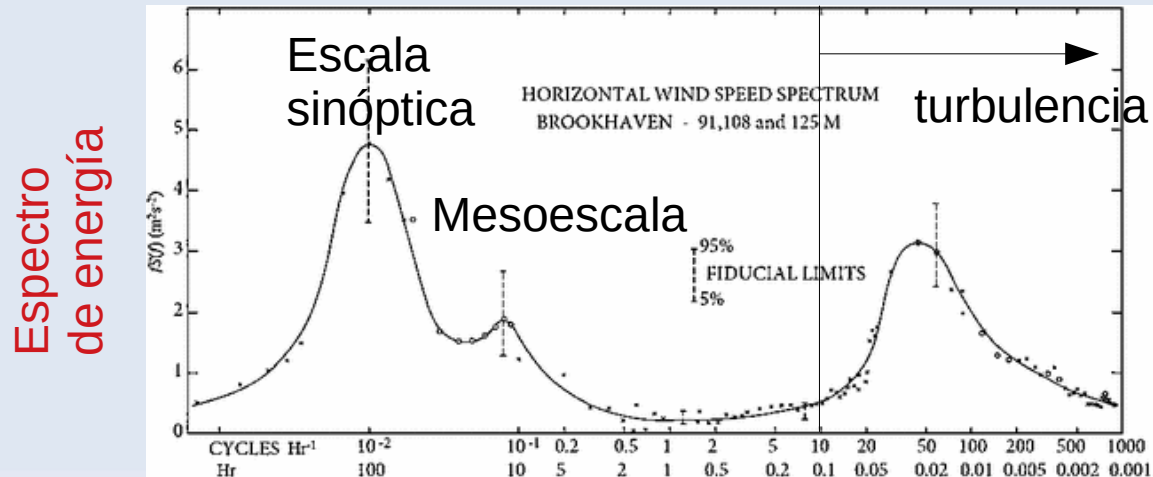
- Dado el foco en ciudades consideraremos vientos en superficie (10 m de altura).
- El cortante vertical de vientos es muy importante para la construcción, seguros, predicciones de energía eólica y distribución de contaminantes
 - UTE ha generado una red de mediciones de viento hasta 100 m
 - Existen métodos para extrapolar el cortante vertical del viento a partir de observaciones en superficie (p.ej. Kent et al 2018).



Características de los vientos

- Vientos en 10 m están dentro de la capa límite atmosférica. Por lo tanto el flujo atmosférico siente el efecto de fricción de la frontera (y obstáculos) y se vuelve turbulento.
- Es posible dividir el flujo en dos partes debido a la discontinuidad en el espectro de energía del viento:

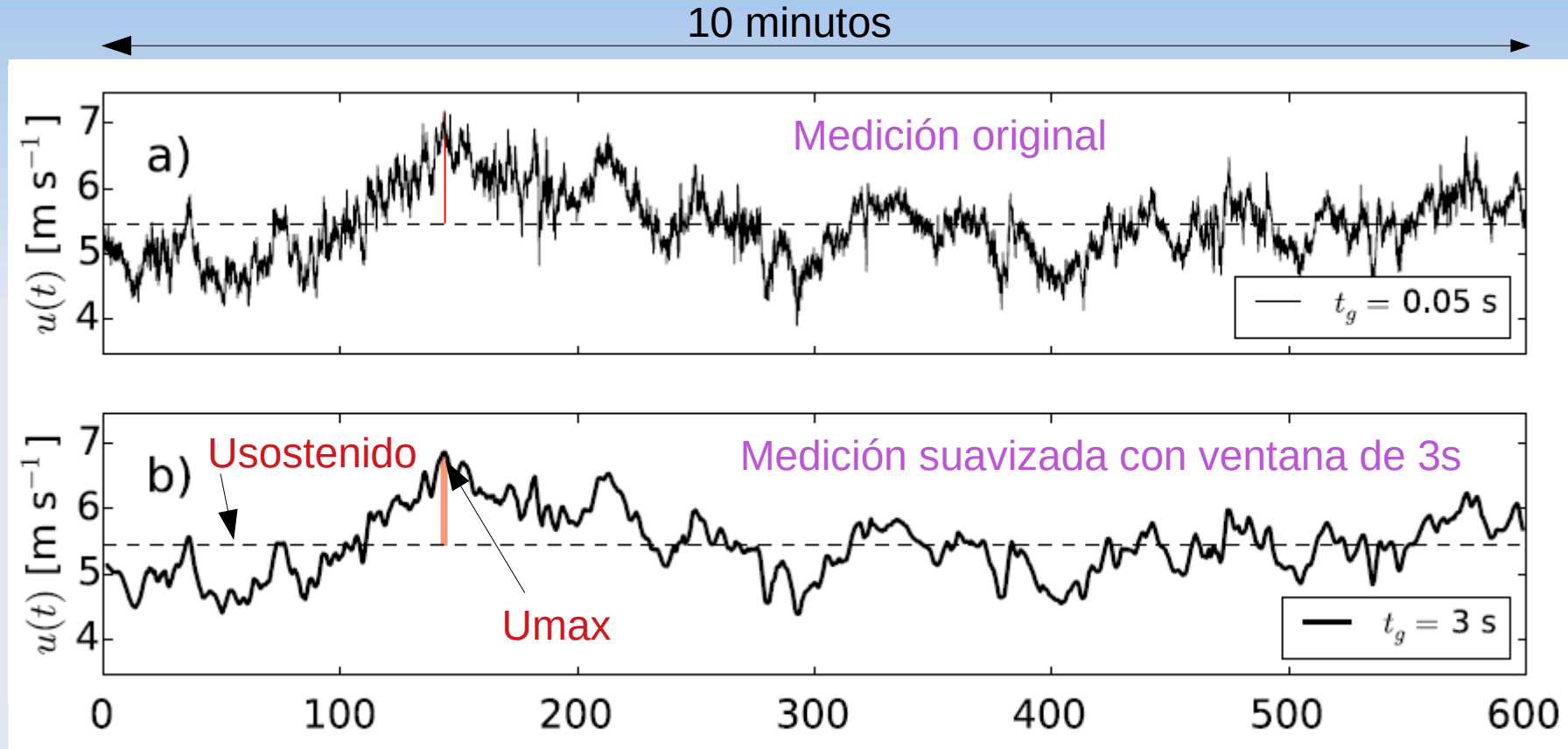
Viento medio + turbulento = Viento sostenido + turbulencia



Viento sostenido: promedio en 10 minutos, filtra la turbulencia

U_{max} = máxima velocidad promediada en 3s, durante esos 10 minutos

Características de los vientos



Suomi (2017)

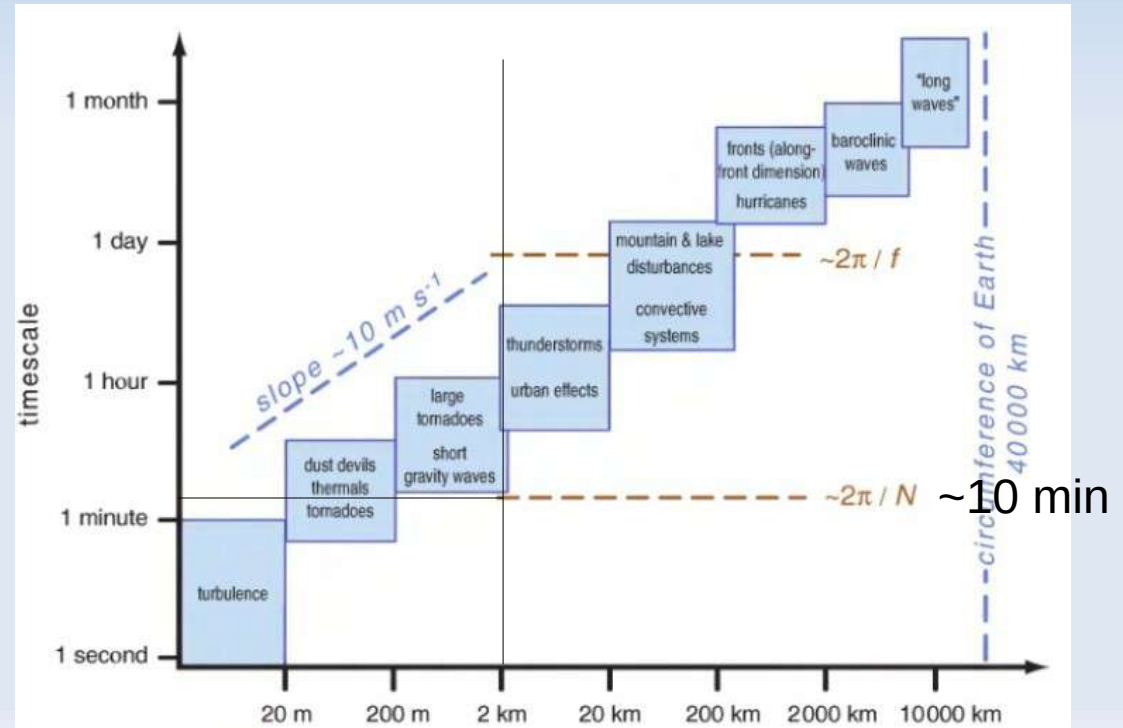
Tiempo (s)

Si $U_{\text{max}} - U_{\text{sostenido}} > 10$ nudos \rightarrow racha

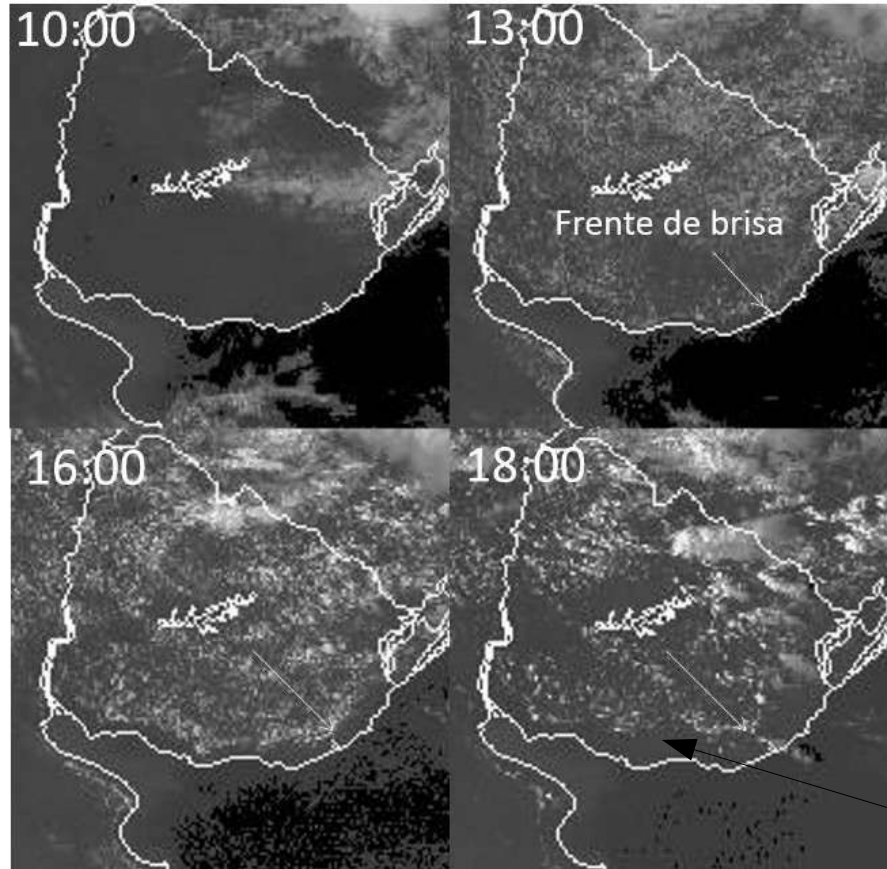
Características de los vientos

- El viento sostenido representa entonces ppalmente variabilidad de vientos asociados a fenómenos de mesoescala y escala sinóptica:

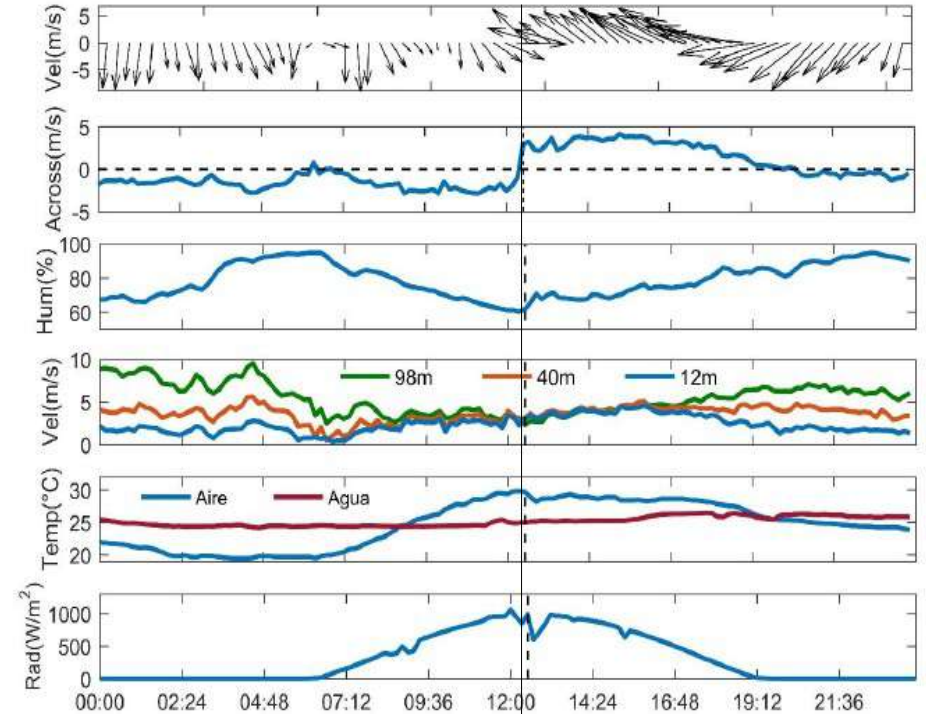
- Sistemas frontales
- Ciclones extratropicales
- Sistemas convectivos de mesoescala
- Brisa o virazón



Brisa marina



Manta (2017)

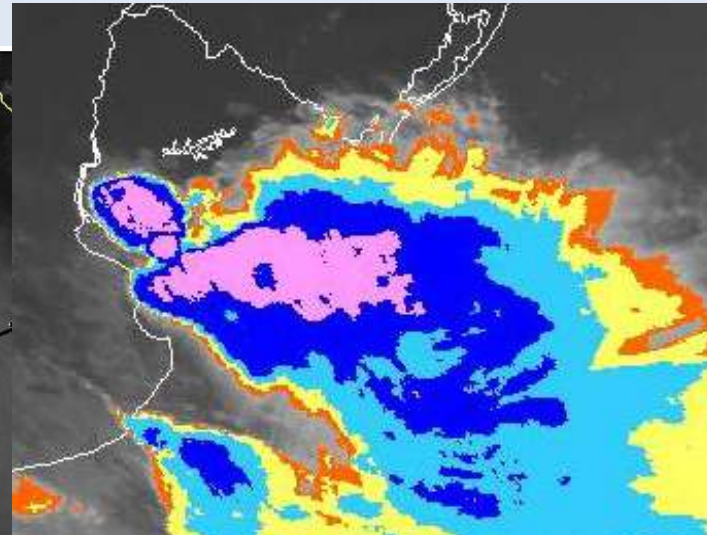
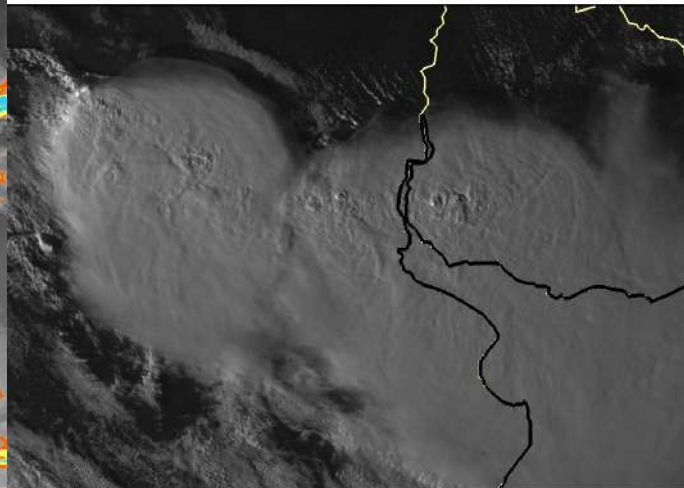
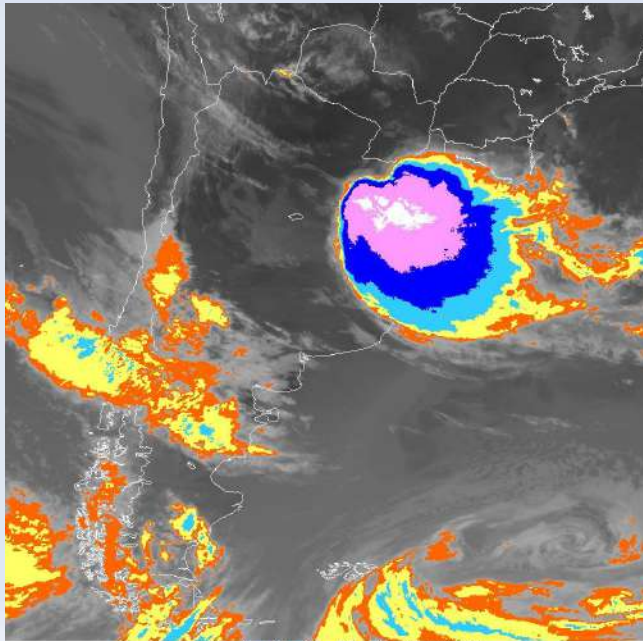


Puede penetrar
50 km

Inicio de brisa marina

Sistemas convectivos de mesoescala

- Grupo de tormentas convectivas que actúan como un sistema. Pueden durar más de 12 horas y atravesar el país.
- Ejemplos:
 - Complejos Convectivos de Mesoescala (aprox circular)
 - Lineas de turbonada (*squall lines*)

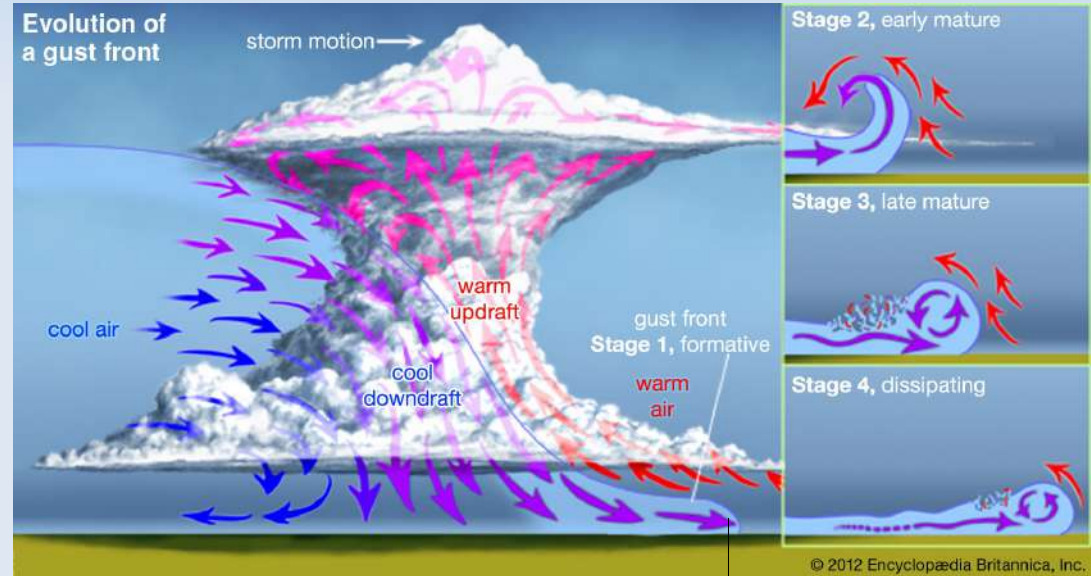


Sistemas convectivos de mesoescala

- En los SCM la turbulencia es muy severa debido a las corrientes ascendentes y descendentes asociadas a las nubes convectivas. Pueden generar frentes de ráfagas.



Corriente descendente
(micro)



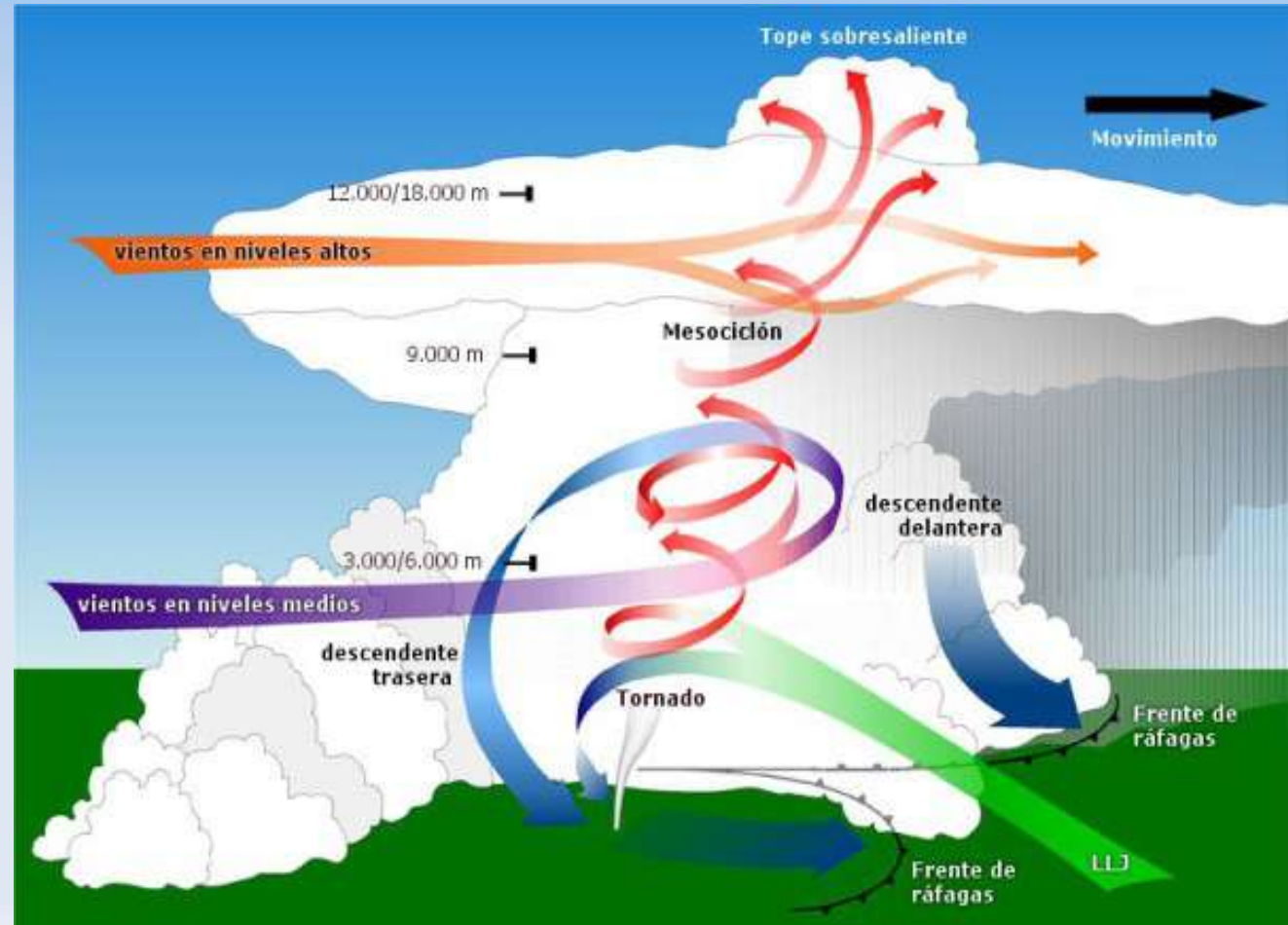
Frente de ráfaga
(meso)

Sistemas convectivos de mesoescala

Superceldas

Tormenta convectiva que rota y tiene una mayor duración.

Puede generar descendentes, frentes de ráfaga y tornados.



Sistemas convectivos de mesoescala

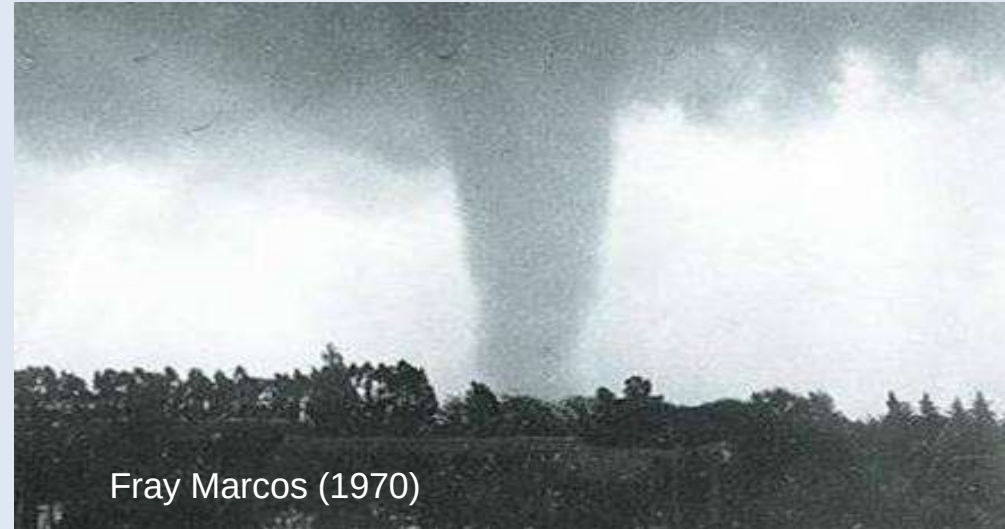
Descendente: Cortina de agua con fuerte viento asociado. Puede tener 100 km/h, dura minutos.



Chamizo y San Ramon 2014

Estos fenómenos tienen vientos que no se pueden medir en estaciones y no podemos observarlos

Tornados: Se sabe hace 40 años que Uruguay está en región con potencial tornádico.



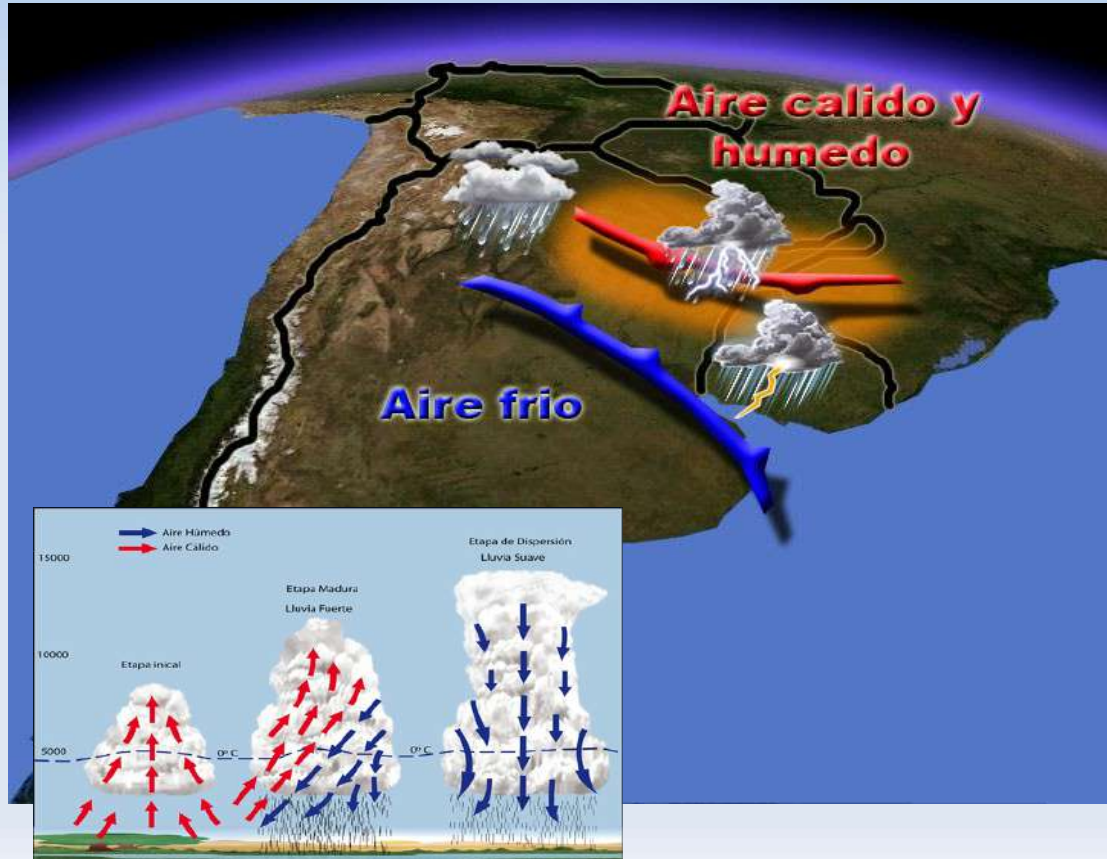
Fray Marcos (1970)



FACULTAD DE
CIENCIAS
UDELAR | fcien.edu.uy

Sistemas frontales

El pasaje de frentes fríos muchas veces generan Sistemas Convectivos de Mesoescala



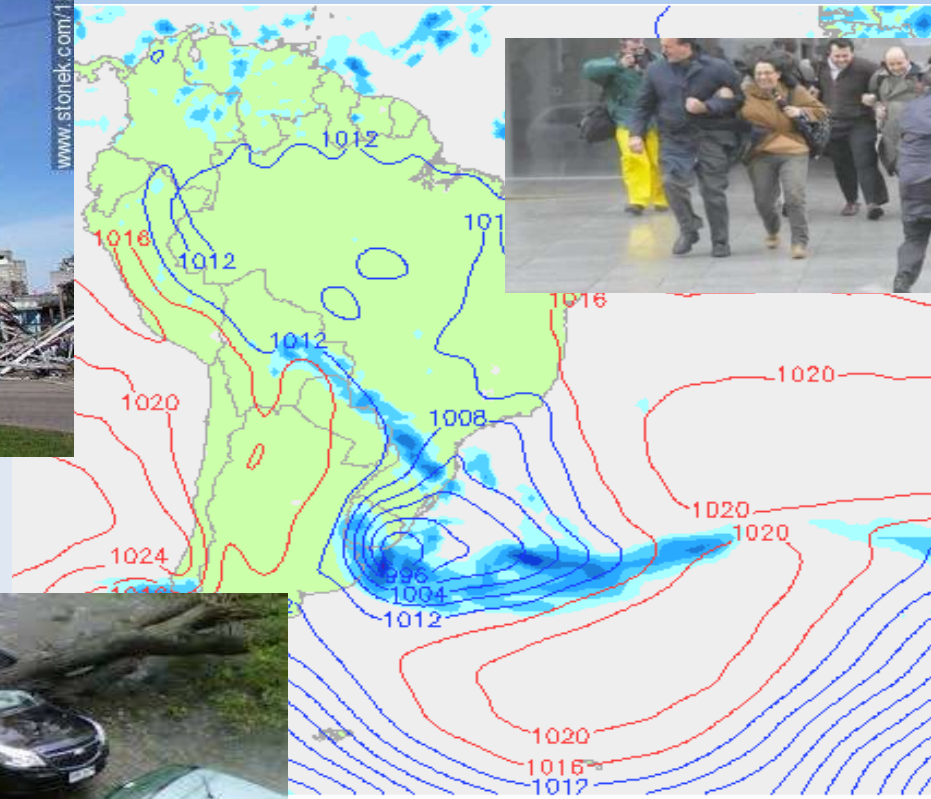


FACULTAD DE
CIENCIAS
UDELAR | fciencias.edu.uy

Ciclones extratropicales



www.stonek.com/12747



flashes.com.uy

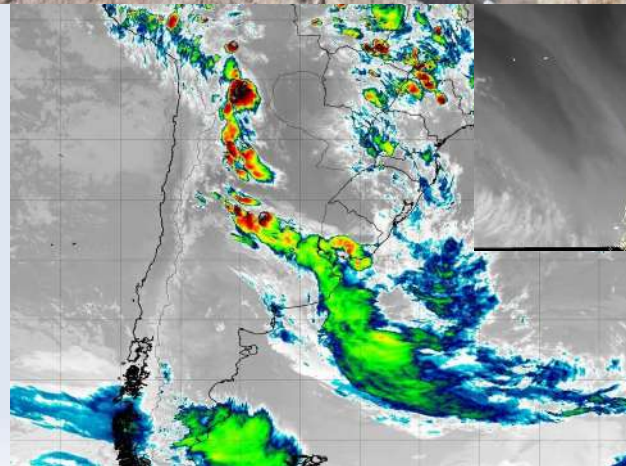
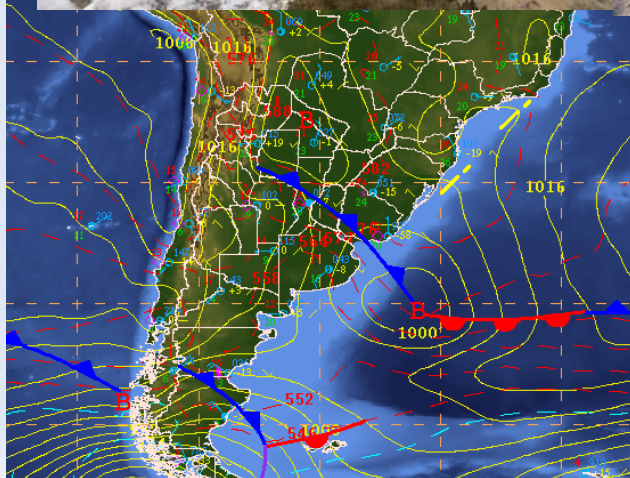
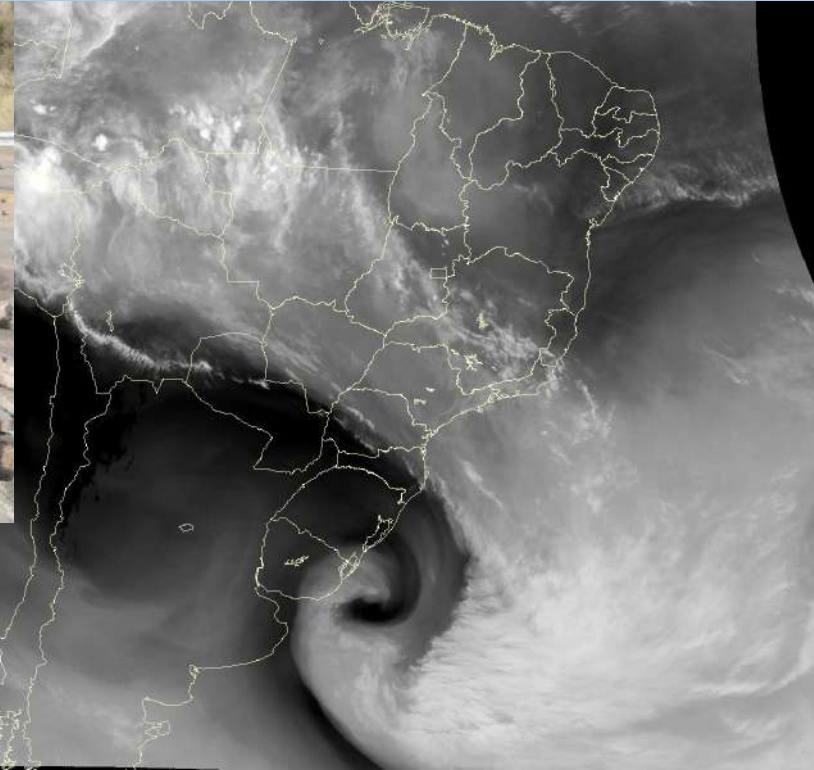


9/09/2012 12..15UTC (Wed 06+09)
©weatheronline.co.uk



FACULTAD DE
CIENCIAS
UDELAR | fciencias.edu.uy

Ciclones extratropicales



Los vientos asociados a los ciclones afectan todo el país, pero son más intensos en la costa.

Estructura de las charlas

- **Introducción**
 - Características de los vientos
 - Fenómenos meteorológicos asociados a vientos intensos en Uruguay
- **Datos utilizados**
 - INUMET, reanálisis atmosféricos
- **Variabilidad y tendencia de los vientos**
 - Escala horaria, diaria, estacional, rachas, usando datos de estaciones meteorológicas y de reanálisis
- **Eventos extremos de viento y su asociación con regímenes de circulación**
- **Proyecciones a futuro**

Estaciones meteorológicas convencionales

- Prado, Carrasco, Rivera, Paysandu, Colonia y Rocha
- Datos a 10 m de altura, cada 1 hora de vientos promedio de 10 minutos (Usostenido)
- Período 2000-2020 con cobertura variable:
 - Carrasco casi completa
 - Colonia y Paysandú miden casi únicamente de 7:00 a 19:00 hs
 - Prado tiene períodos de 24 horas, otros de 12 hs y otros sin datos
 - Rivera mide 24 hs desde 2008

Estaciones meteorológicas automáticas

- Datos a 10 m de altura cada 10 minutos de $U_{sostenido}$ y U_{max}
- Período de mediciones corto

Estación automática	Período
Prado	03/08/2018-31/12/2020
Colonia	19/08/2018-31/12/2020
Rivera	27/04/2020-31/12/2020
Paysandu	15/05/2020-31/12/2020
Rocha	05/11/2018-31/12/2020

Datos Reanálisis Atmosféricos

NCEP-CDAS1 (NOAA, 2001)

- Medias diarias de presión a nivel del mar y vientos en 1000 hPa.
- Período 1950-2018.
- Datos globales con resolución horizontal de $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$, 28 niveles.

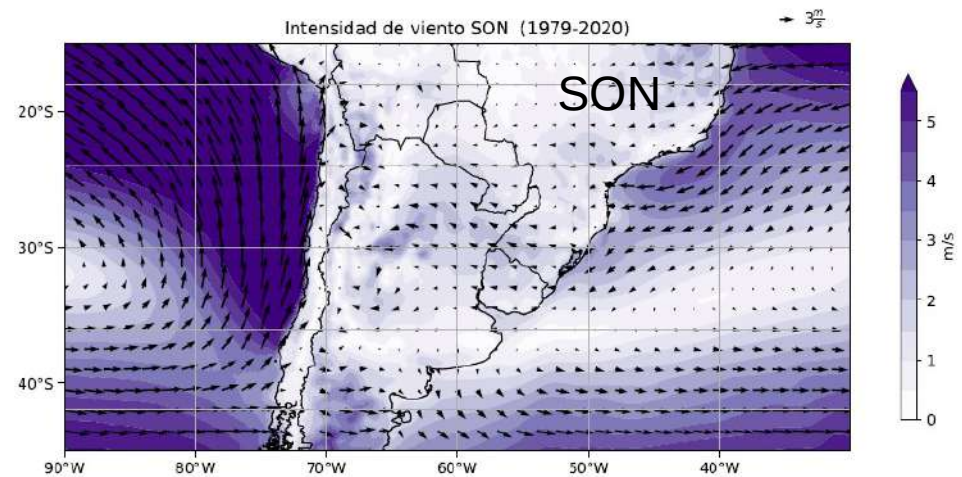
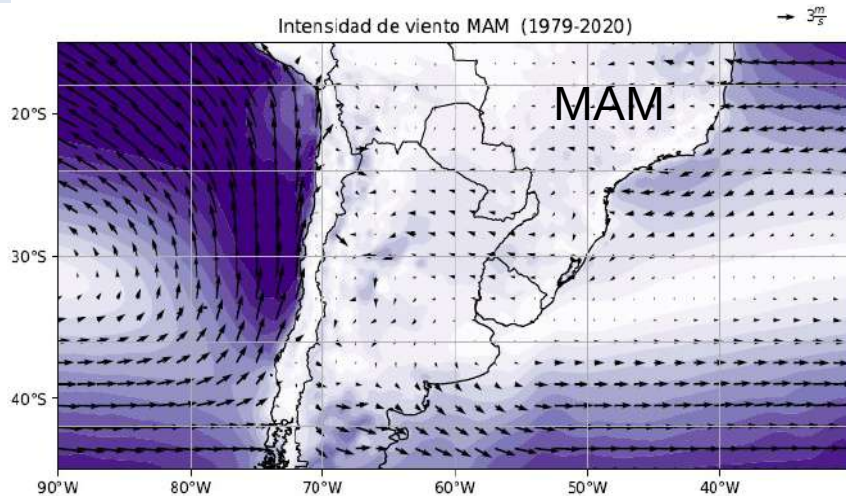
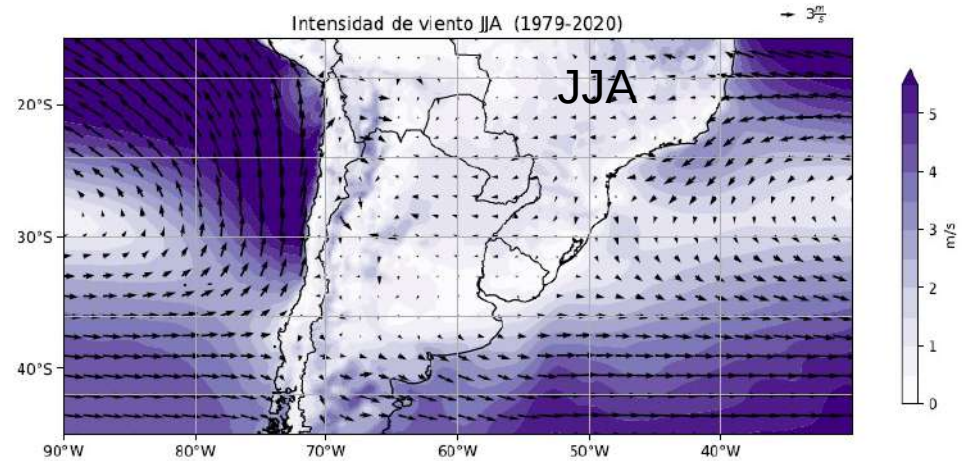
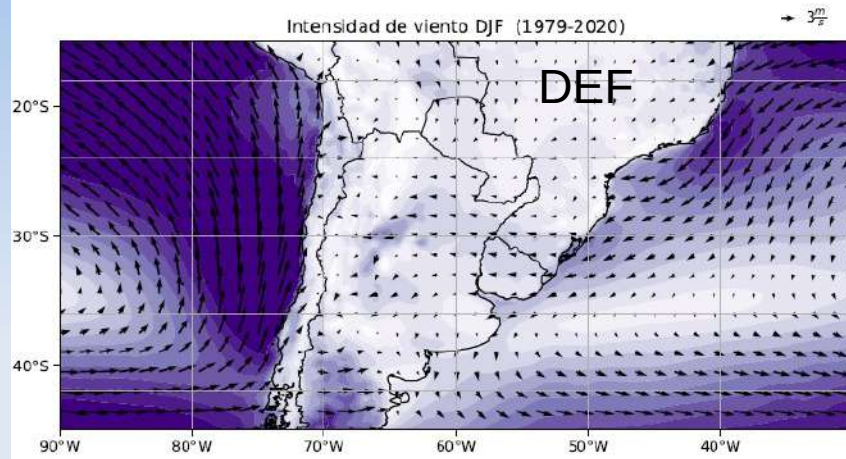
ERA5 (ECMWF, 2020)

- Datos horarios de presión a nivel del mar y viento en 10 m.
- Período 1979-2020.
- Datos globales con resolución horizontal de 31 km, 137 niveles.

Estructura de las charlas

- **Introducción**
 - Características de los vientos
 - Fenómenos meteorológicos asociados a vientos intensos en Uruguay
- **Datos utilizados**
 - INUMET, reanálisis atmosféricos
- **Variabilidad y tendencia de los vientos**
 - Escala horaria, diaria, estacional, rachas, usando datos de estaciones meteorológicas y de reanálisis
- **Eventos extremos de viento y su asociación con regímenes de circulación**
- **Proyecciones a futuro**

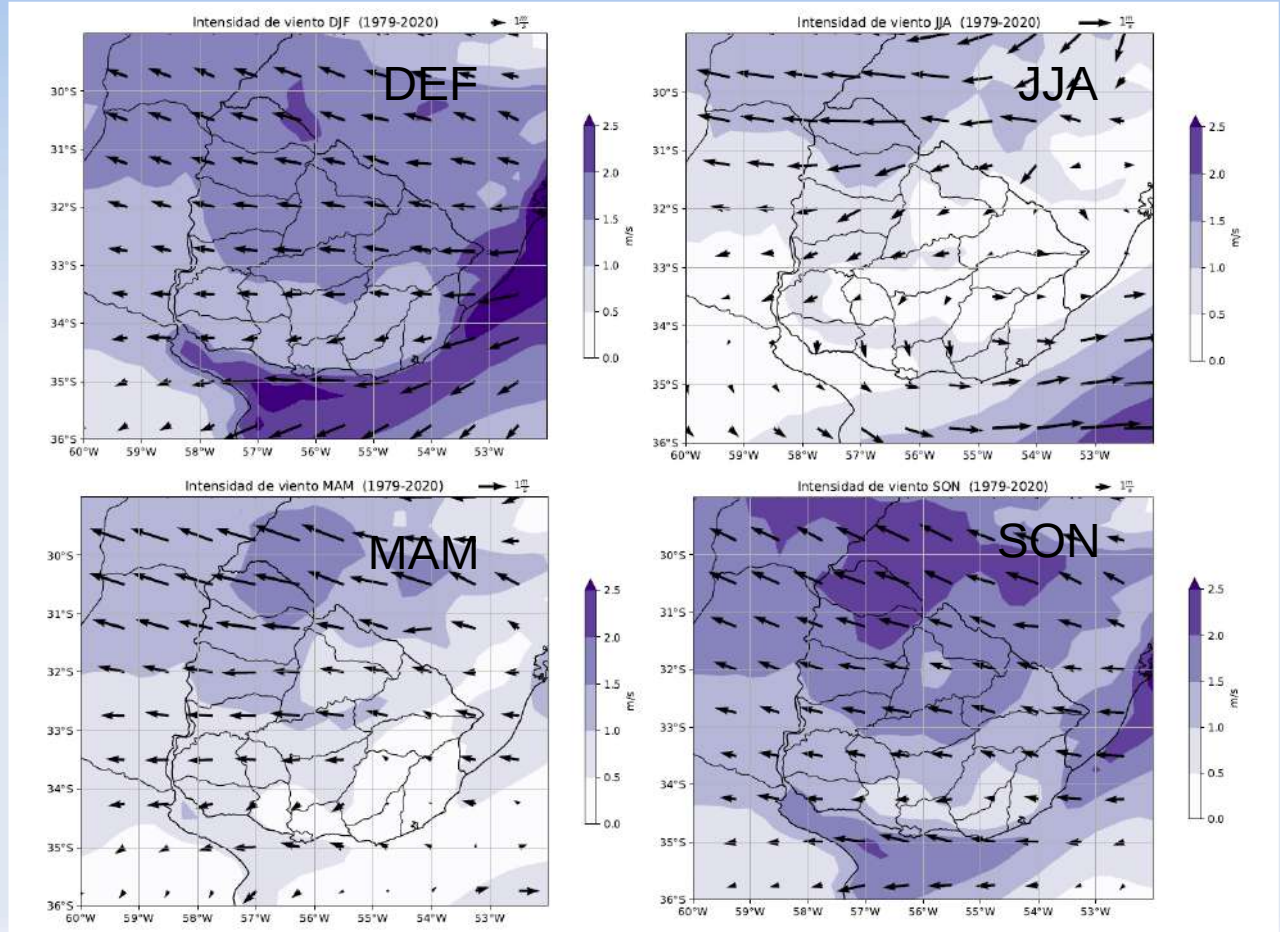
Vientos medios regionales



Vientos medios Uruguay

Vientos estacionales promedio son más intensos al norte del país y tienen componente E

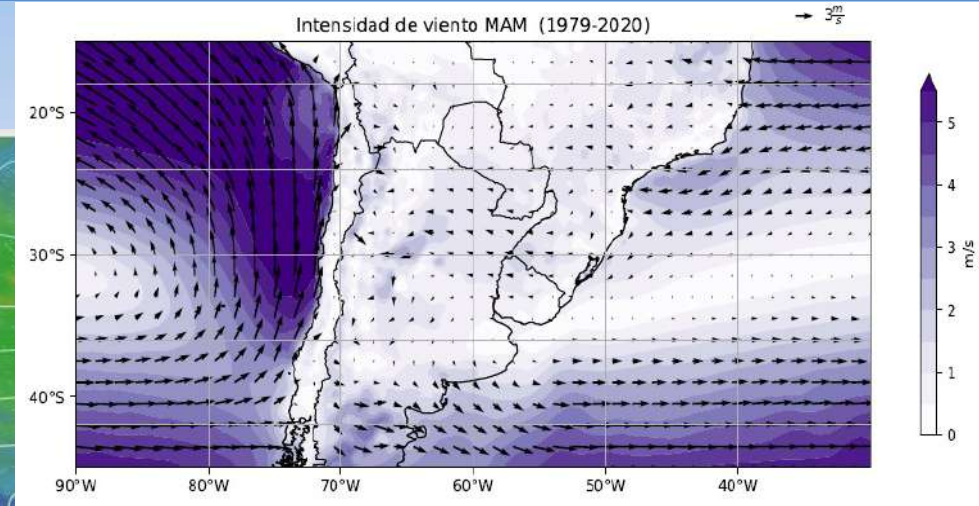
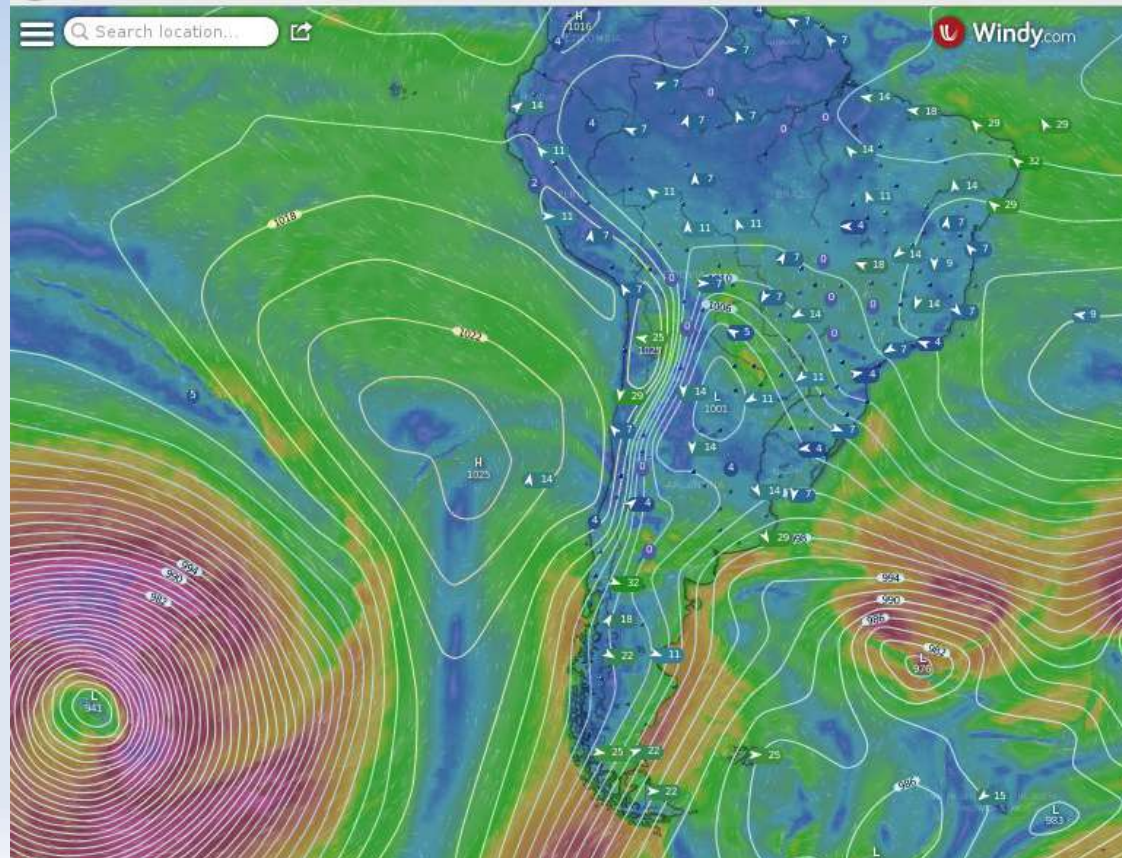
Intensidad
~ 2m/s ~ 7.2 km/h ~ 4 nudos





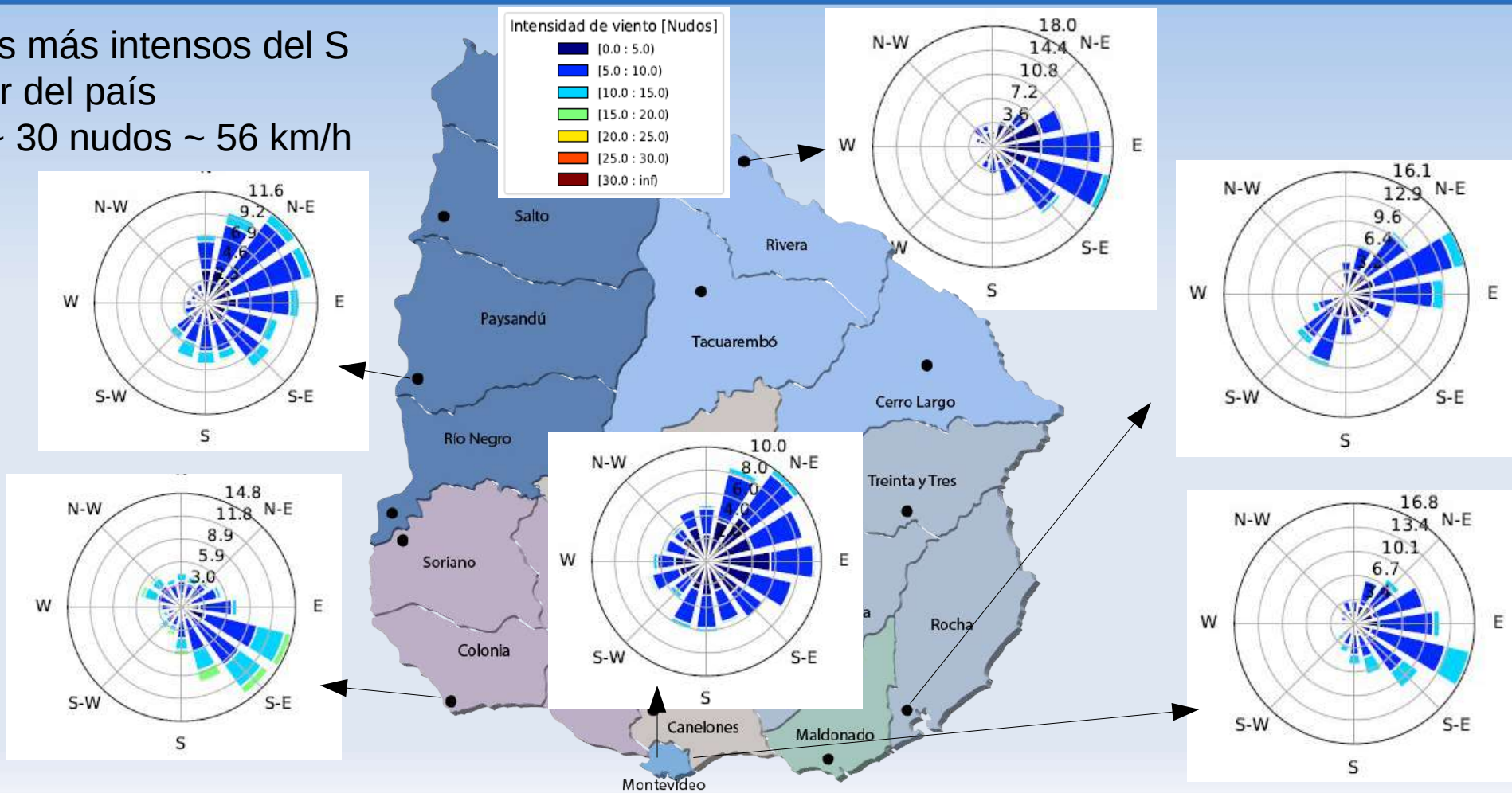
FACULTAD DE
CIENCIAS
UDELAR | fciencias.edu.uy

Vientos medios Uruguay



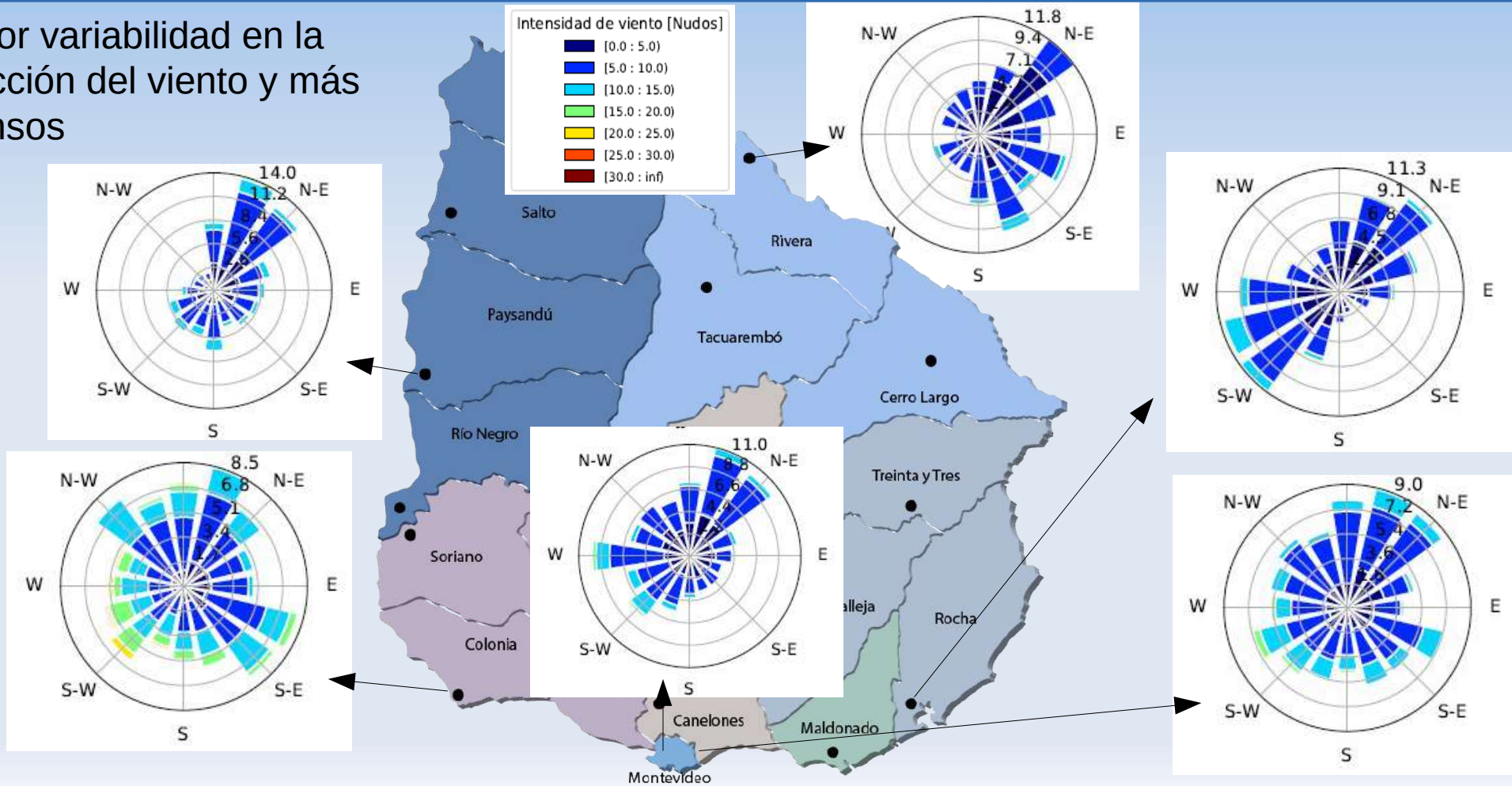
Variabilidad media diaria - Verano

Vientos más intensos del S
y al sur del país
Imax ~ 30 nudos ~ 56 km/h



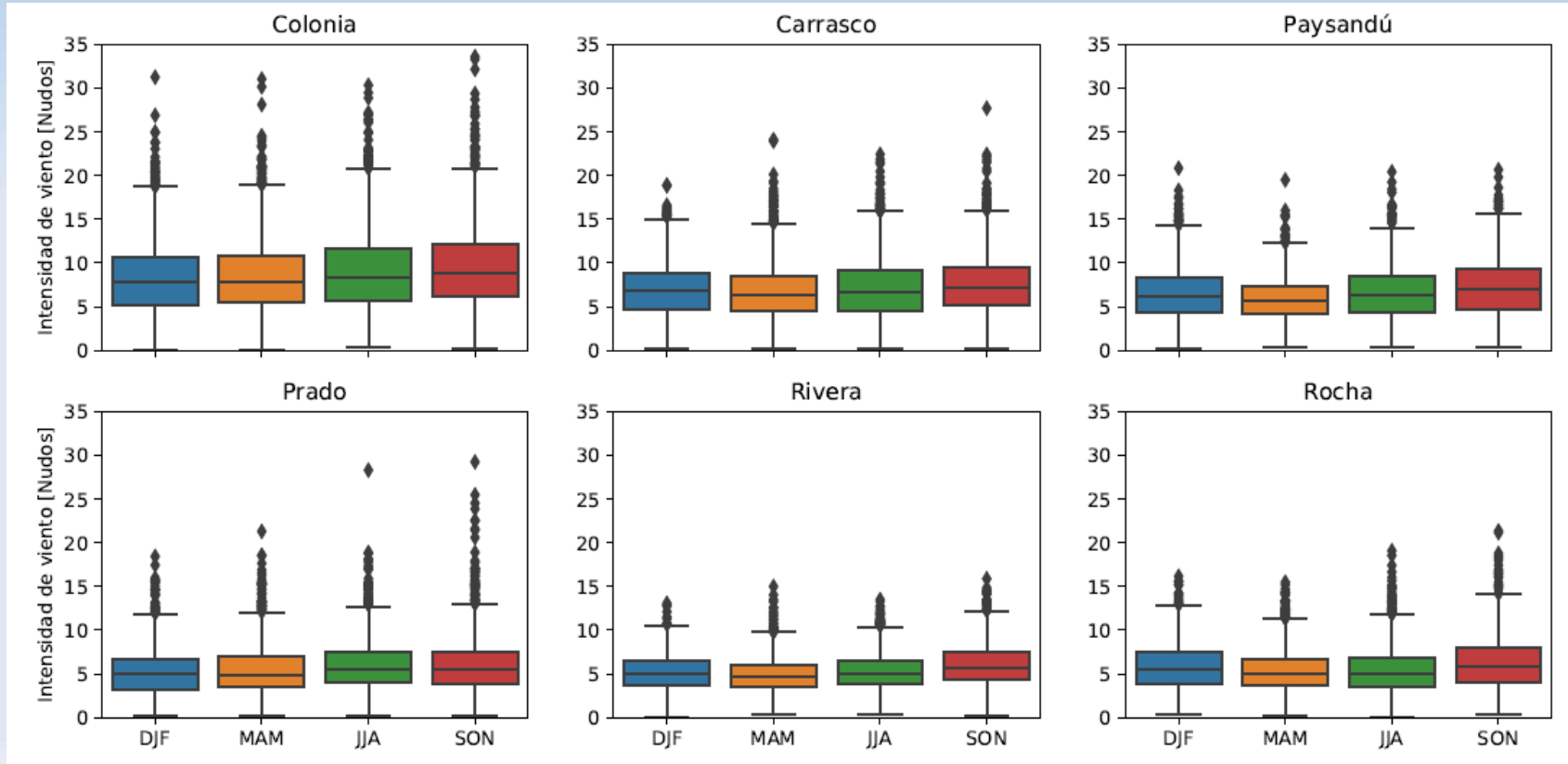
Variabilidad media diaria - Invierno

Mayor variabilidad en la dirección del viento y más intensos



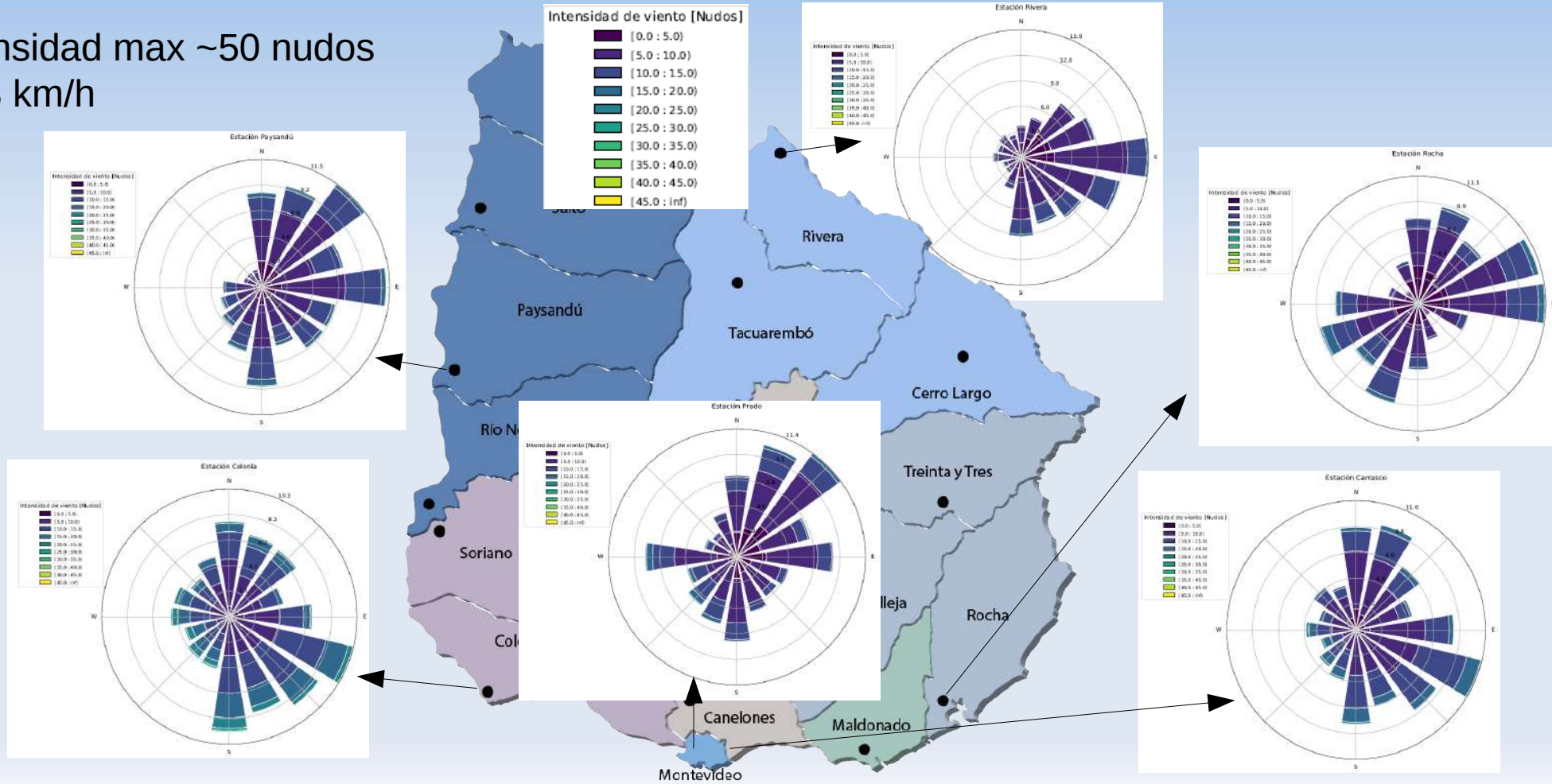
Ciclo estacional de intensidad media diaria

- Primavera es la estación más ventosa
- Colonia más ventoso / Rivera más calmo



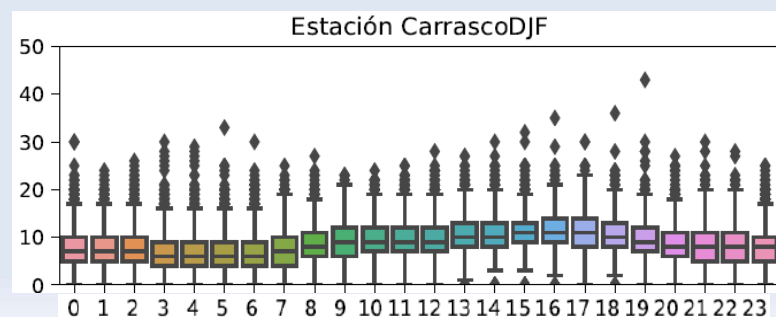
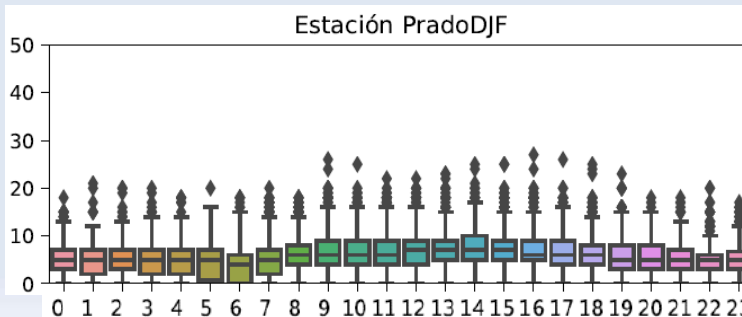
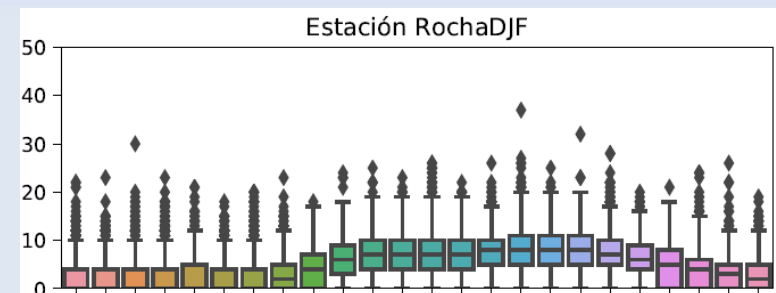
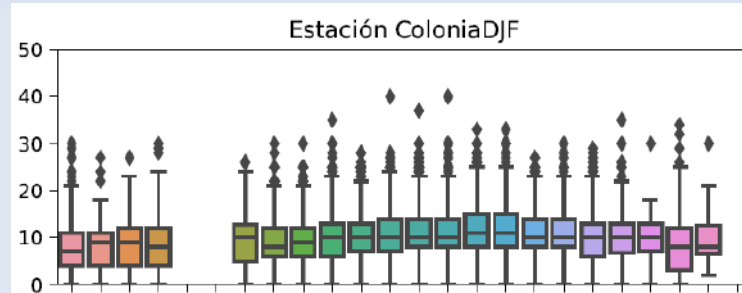
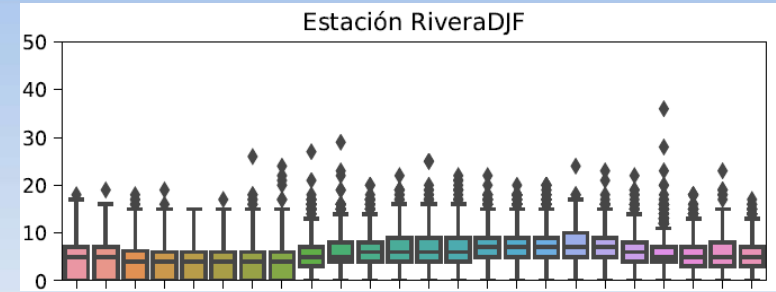
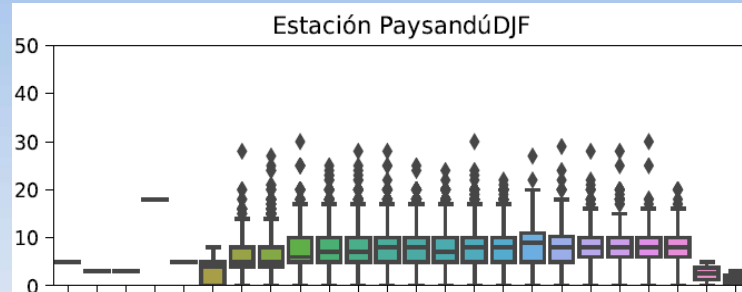
Variabilidad horaria - Anual

Intensidad max ~50 nudos
~ 93 km/h



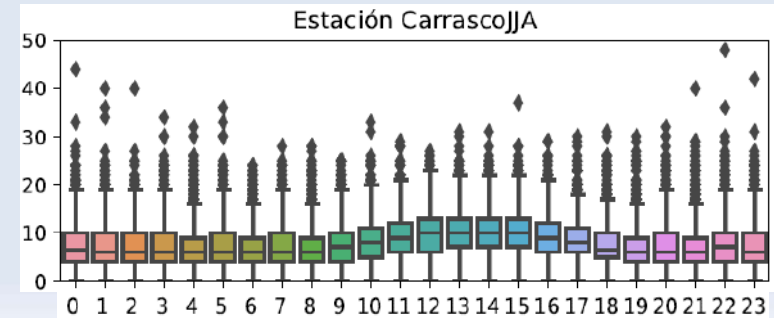
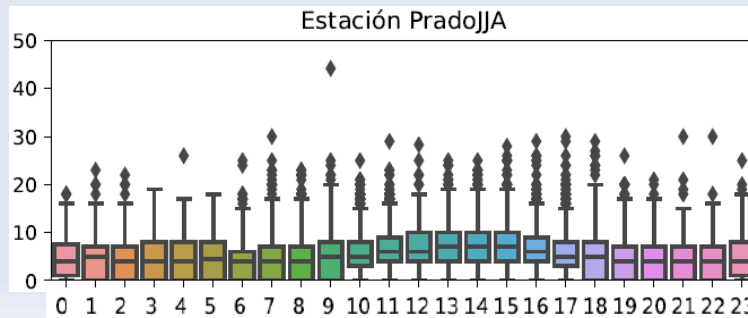
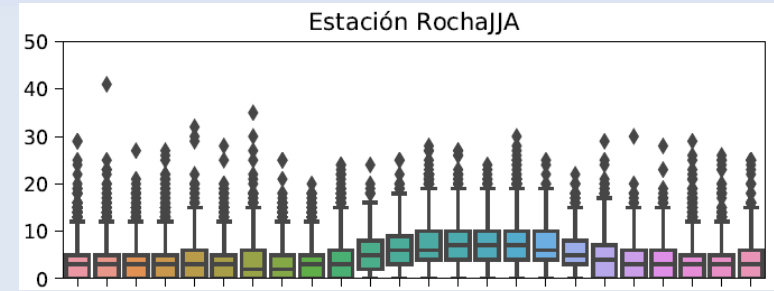
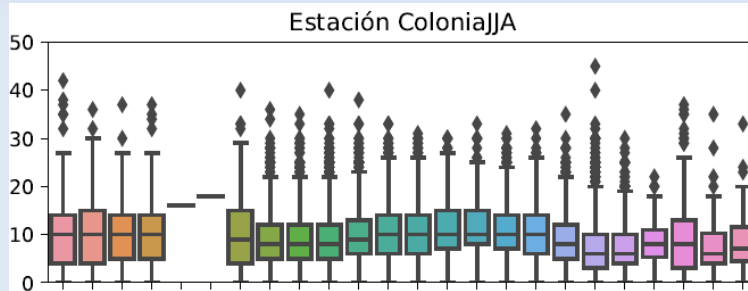
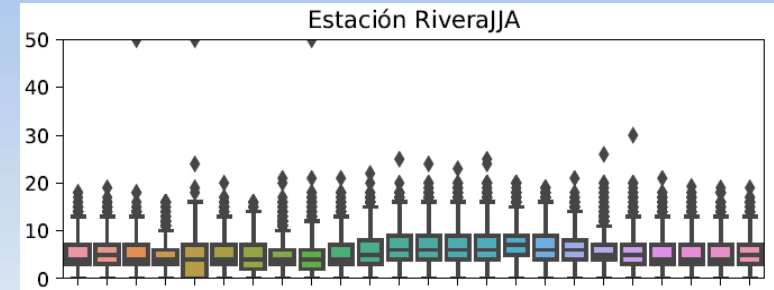
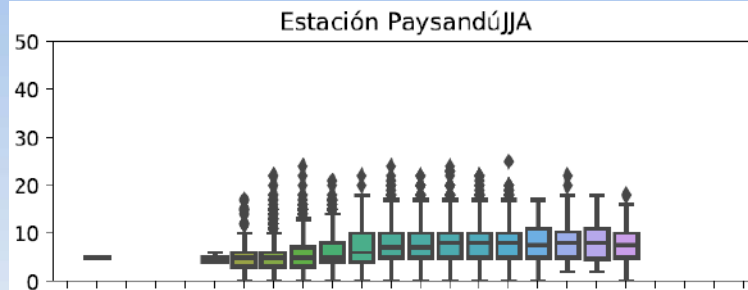
Ciclo diario de intensidad - Verano

Se observa un aumento en la intensidad del viento a partir de la mañana cuando la capa límite se empieza a desestabilizar y mezclar.

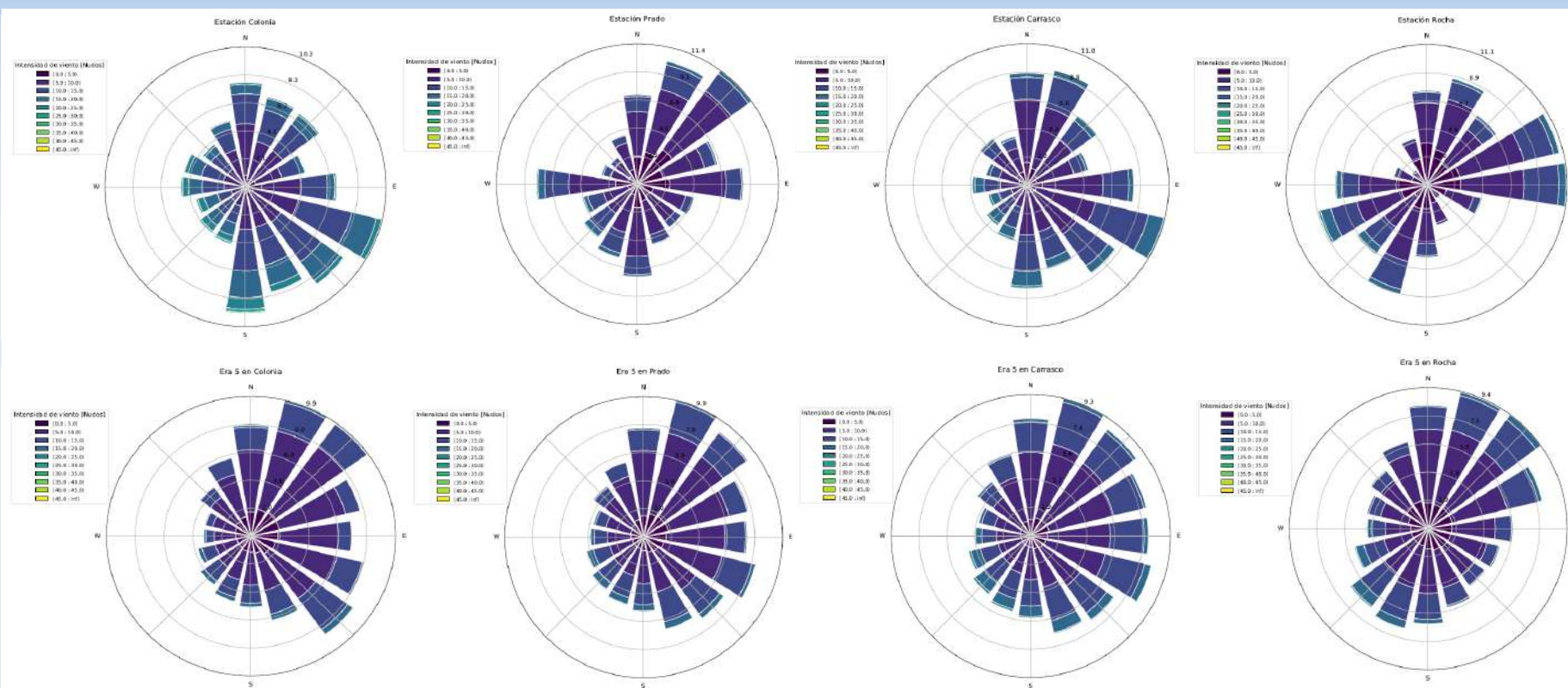


Ciclo diario de intensidad - Invierno

El aumento durante el día está más restringido horas del mediodía.



ERA5

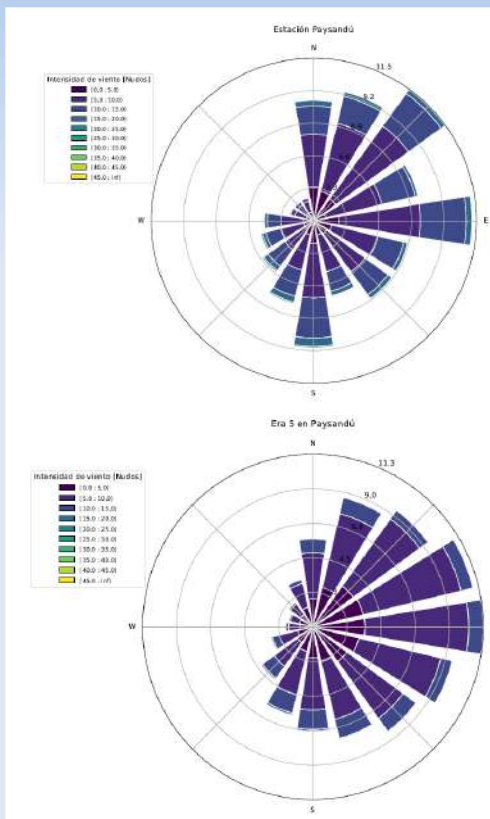


Validación ERA5 – Vientos horarios, anual

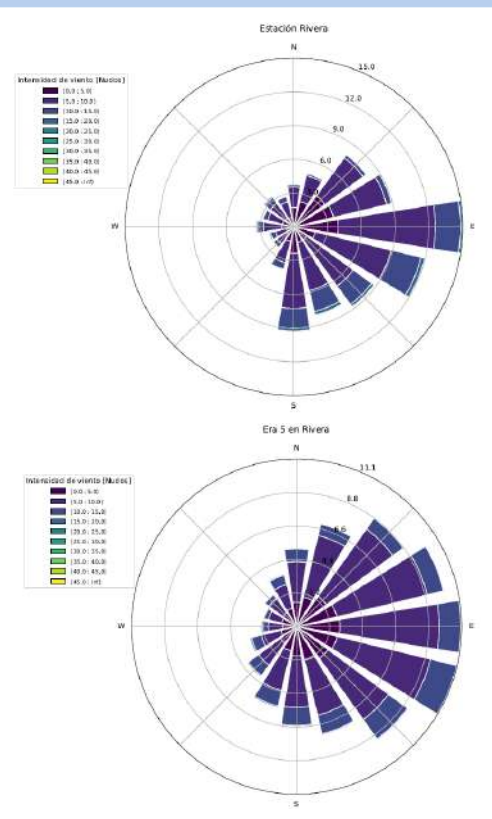
Estaciones
meteorológicas

ERA5

Paysandú



Rivera

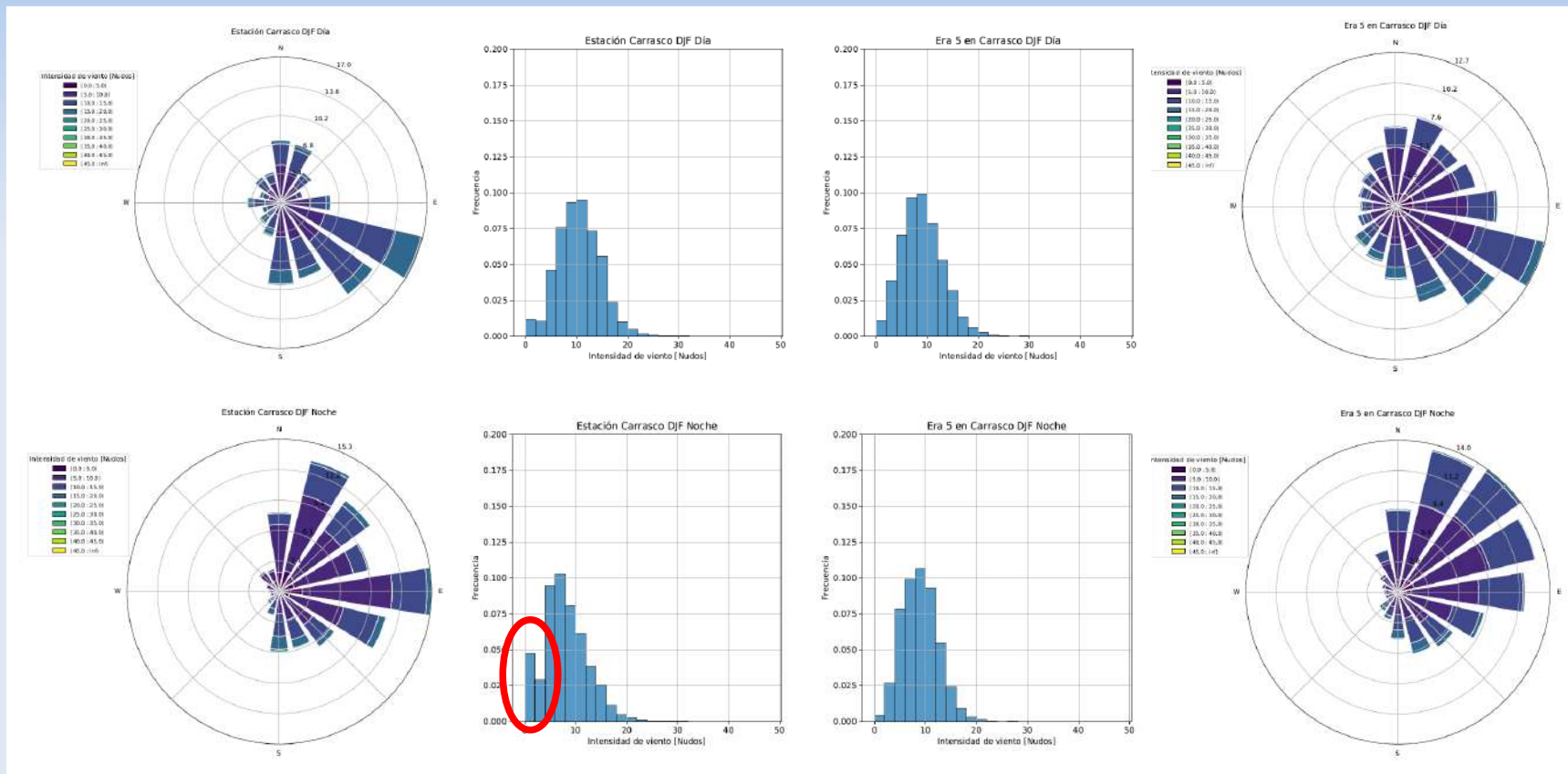


Validación ERA5 - Día vs Noche, Verano

Estación meteorol

Carrasco

ERA5



Día

Noche

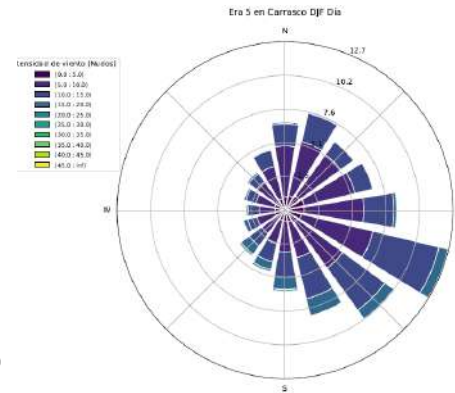
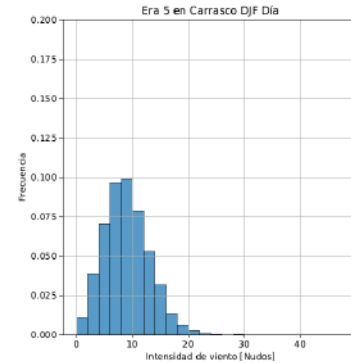
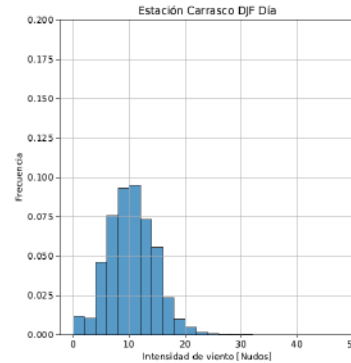
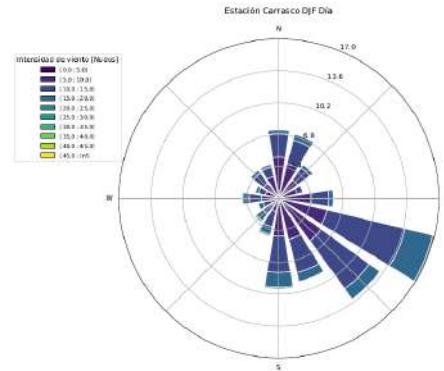
Captura la brisa

Validación ERA5 - Día vs Noche, Verano

Estación meteorol

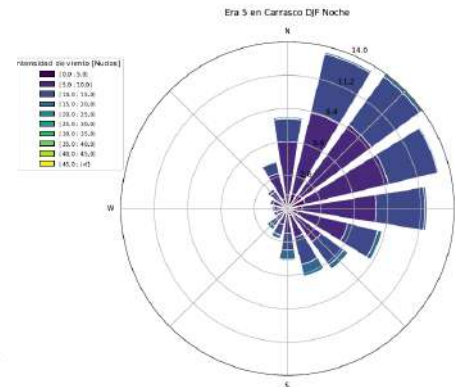
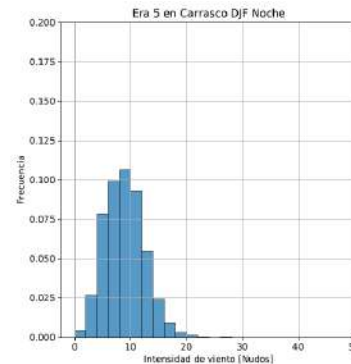
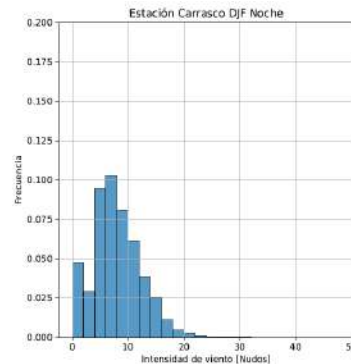
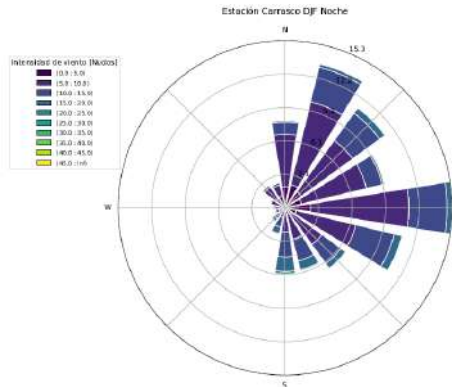
Carrasco

ERA5



Día

Distribuciones de Weibull



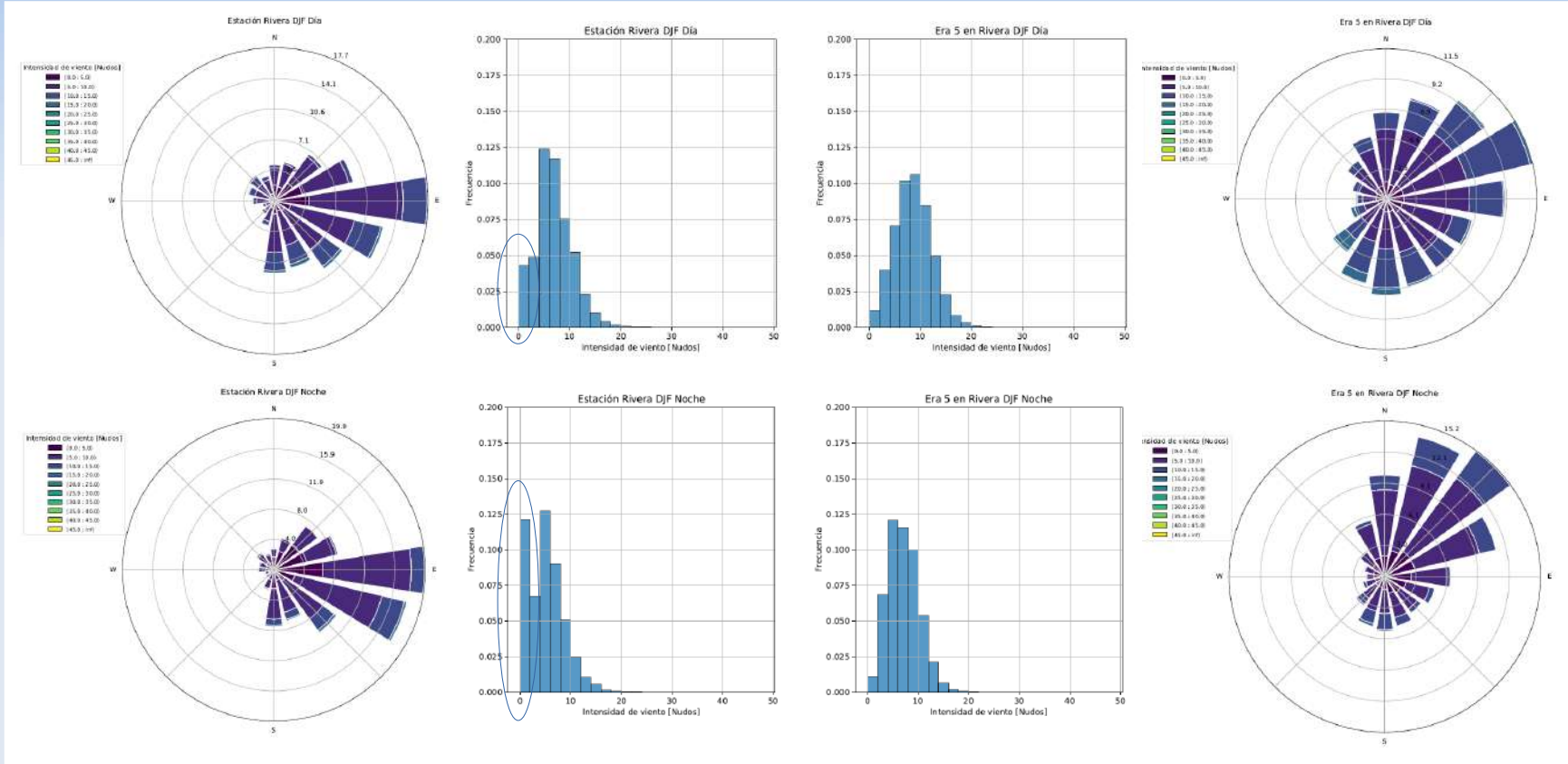
Noche

Validación ERA5 - Día vs Noche, Verano

Estación meteorol

Rivera

ERA5



Día

Noche

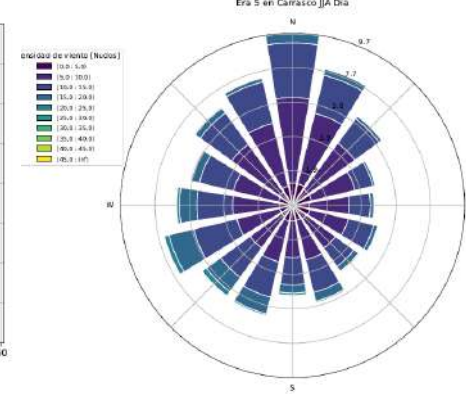
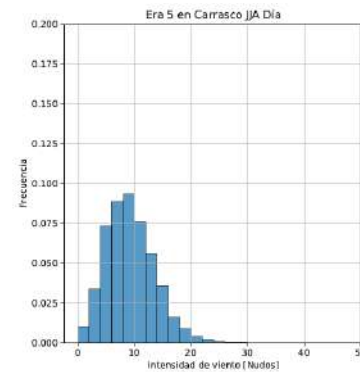
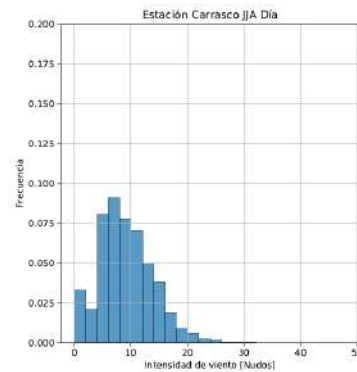
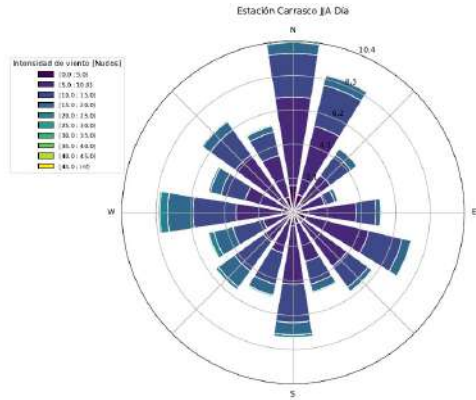
Demasiado componente N

Validación ERA5 - Dia vs Noche, Invierno

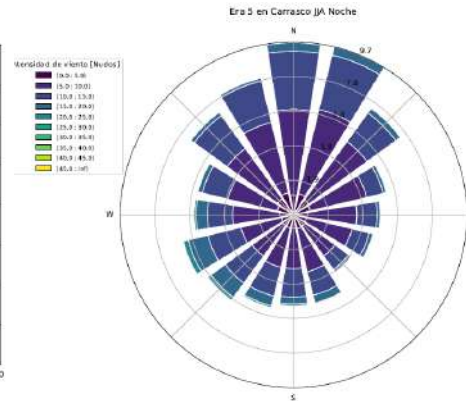
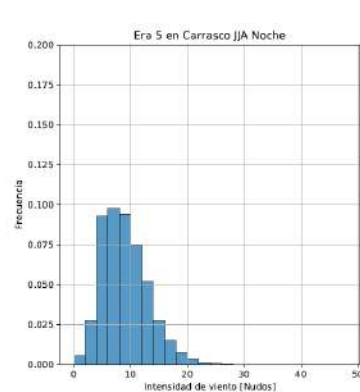
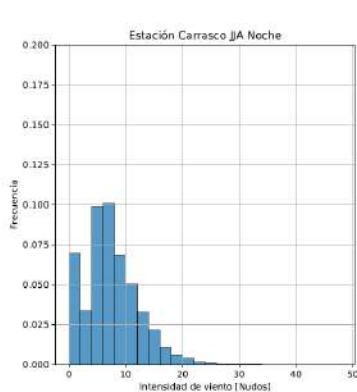
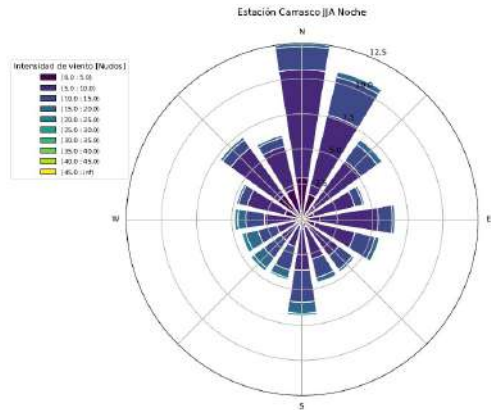
Estacion meteorol

Carrasco

ERA5



Día



Noche

Razonable

Validación ERA5 - Día vs Noche, Invierno

Estación meteorol

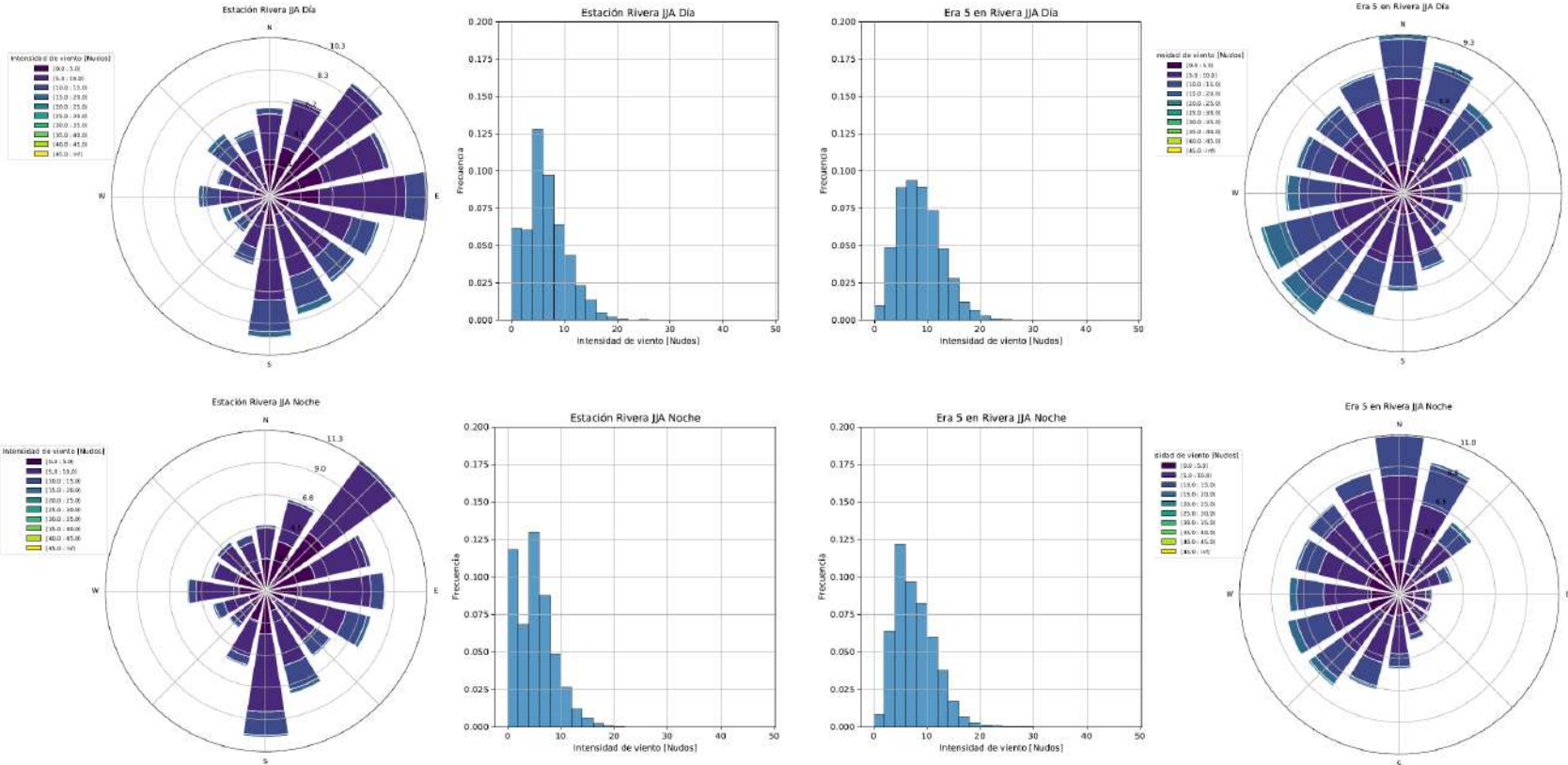
Rivera

ERA5

Día

Noche

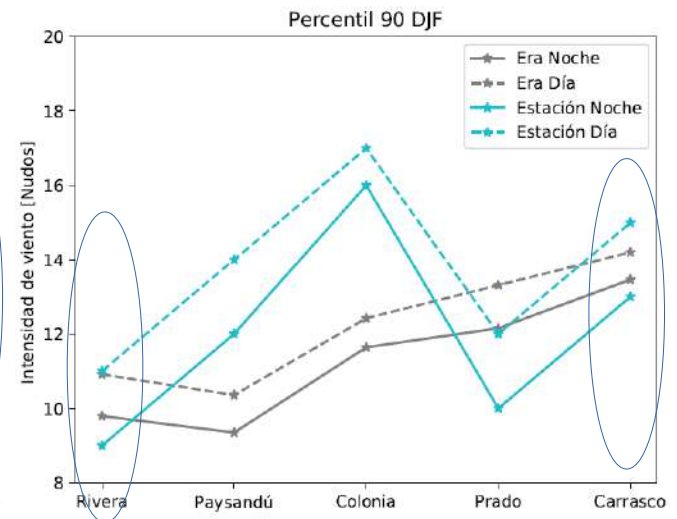
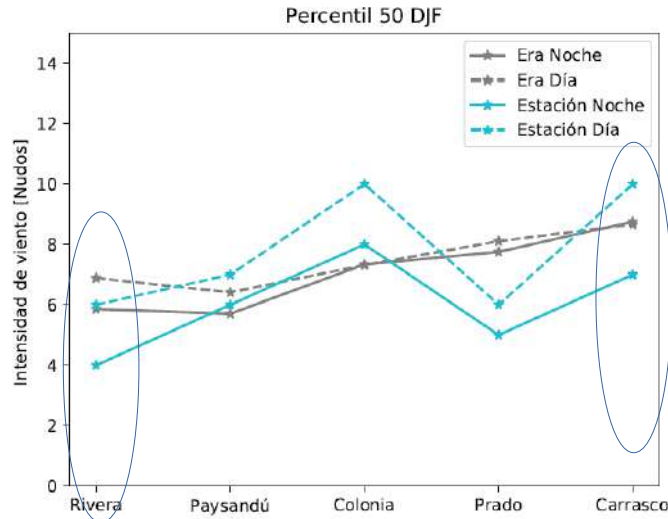
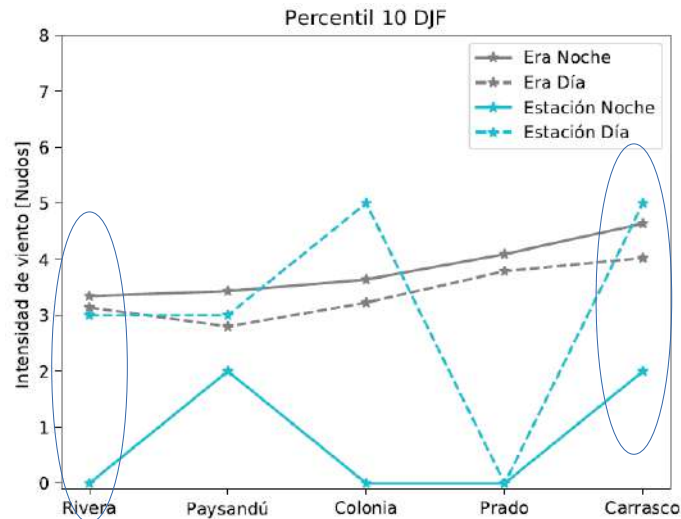
Dirección incorrecta



Validación ERA5 – Percentiles, Verano

Para Carrasco y Rivera, que son las estaciones con datos de noche:
ERA5 reproduce en forma razonable p50 y p90, pero p10 de las estaciones
es muy bajo por la cantidad de 0s.

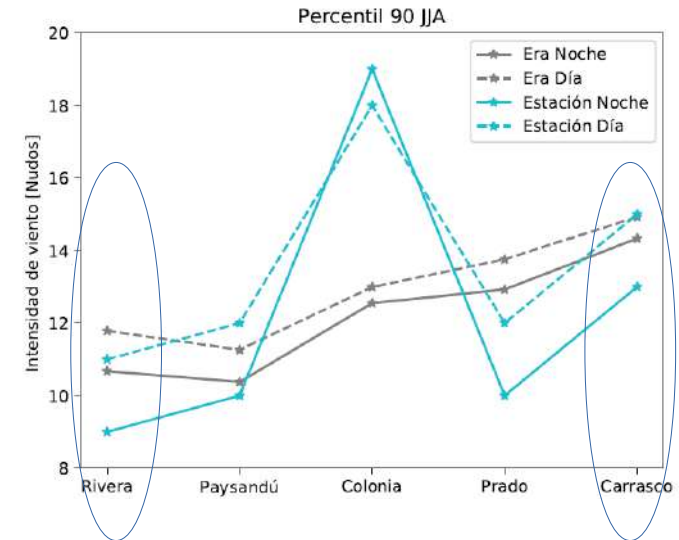
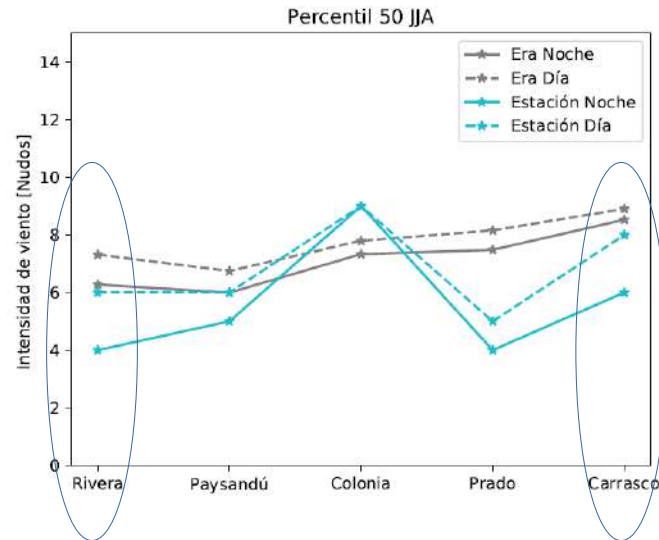
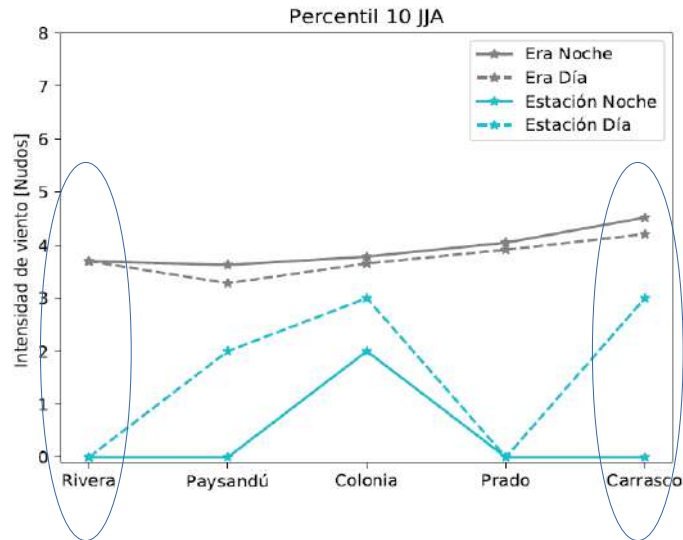
Colonia y Paysandu tienen p90 observado mucho mayores que ERA5.



Validación ERA5 – Percentiles, Invierno

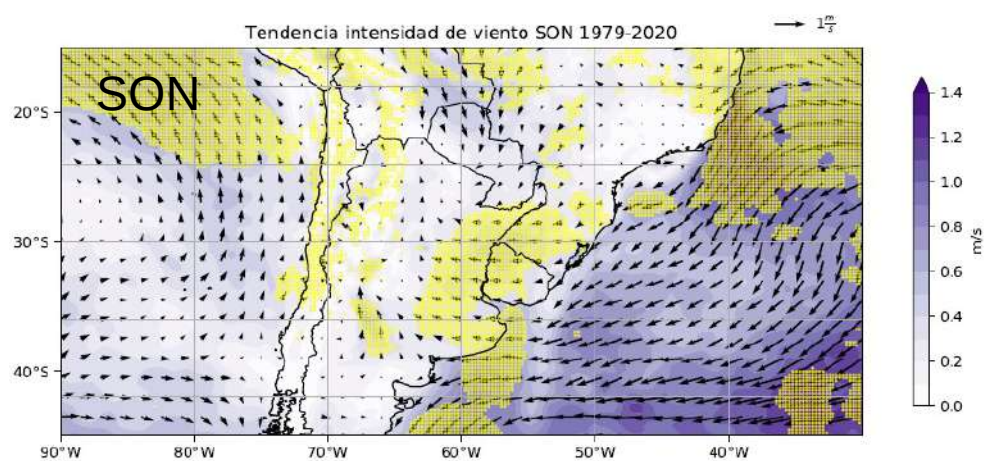
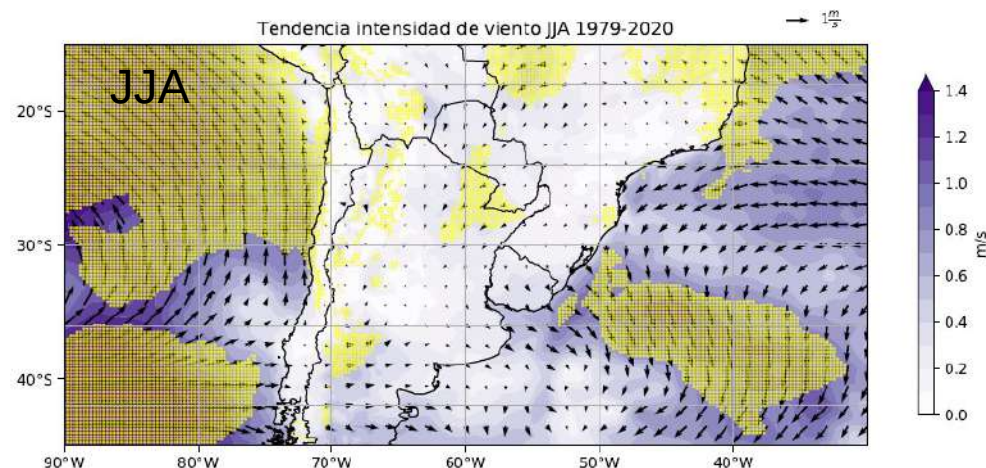
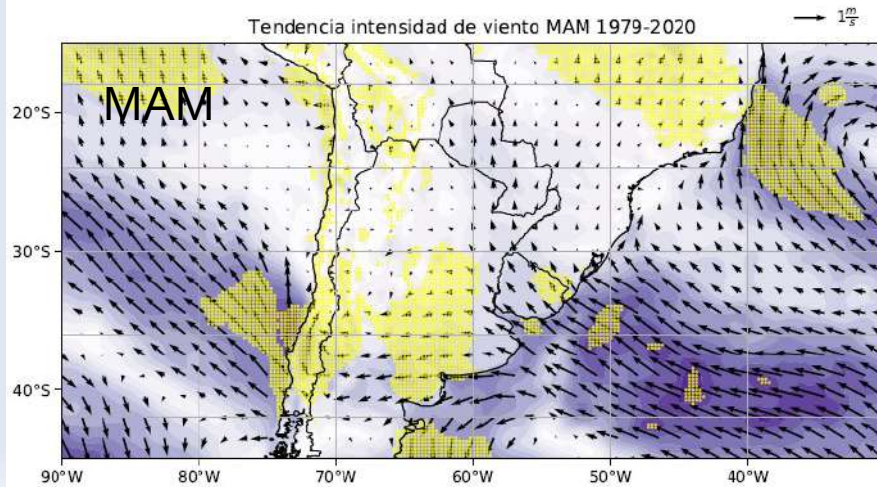
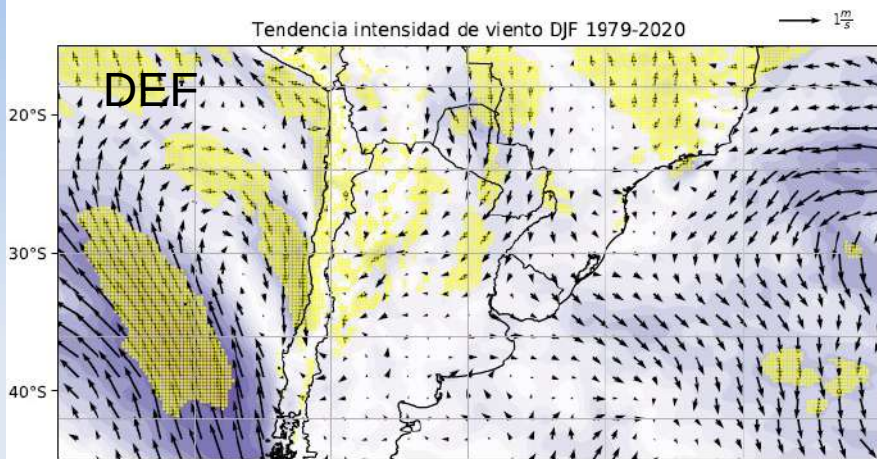
Resultado similares al verano.

Colonia se destaca por el alto valor de p90 observado.



Tendencias en los vientos medios - ERA5

Tendencias 1979-2020
Amarillo: significativas



Tendencias en vientos medios en Uruguay

Tendencias 1979-2020

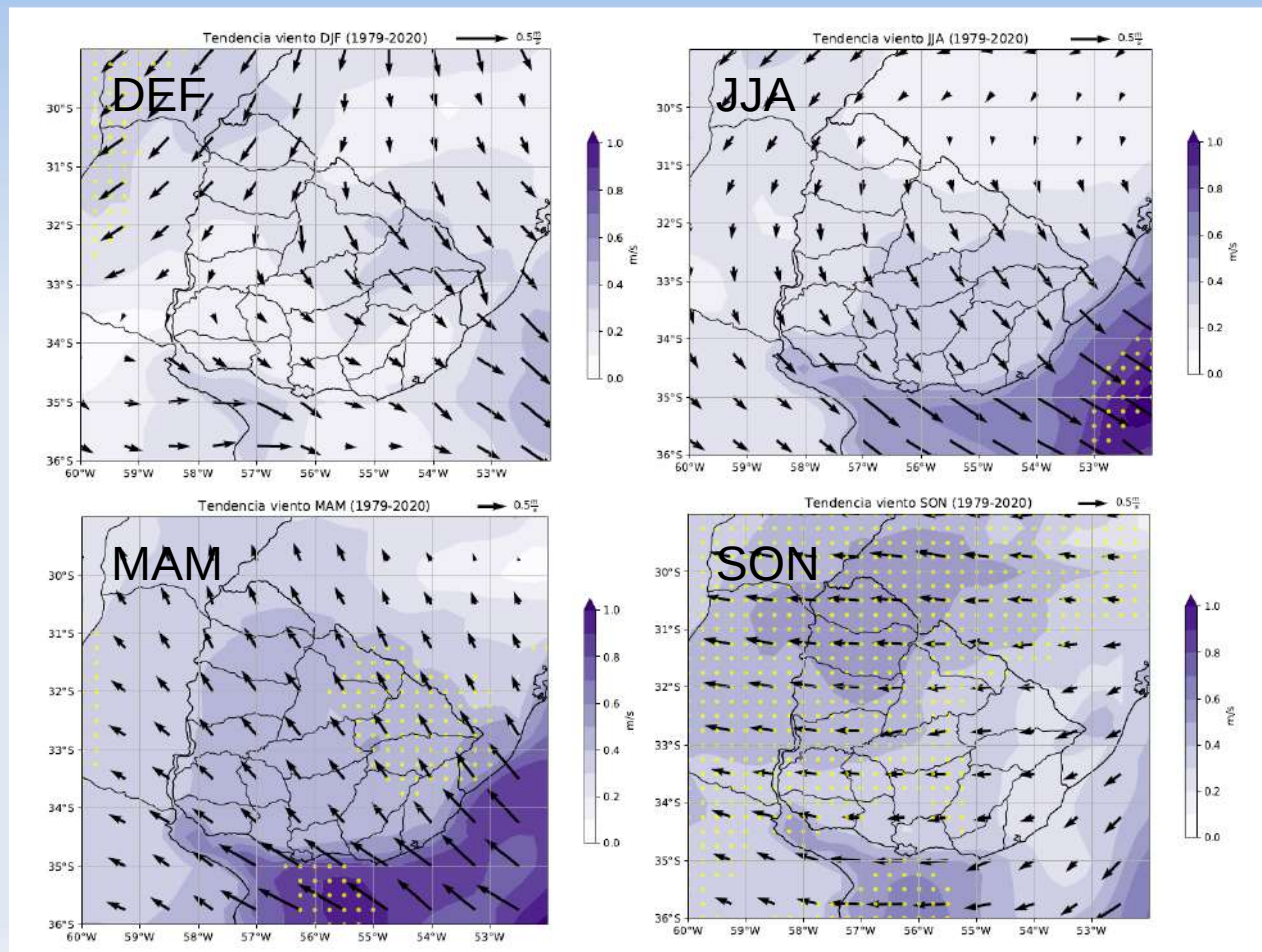
Punteado amarillo indica tendencias estadísticamente significativas

Cambios significativos en otoño y primavera, es decir, en las estaciones de transición:

MAM - este del país

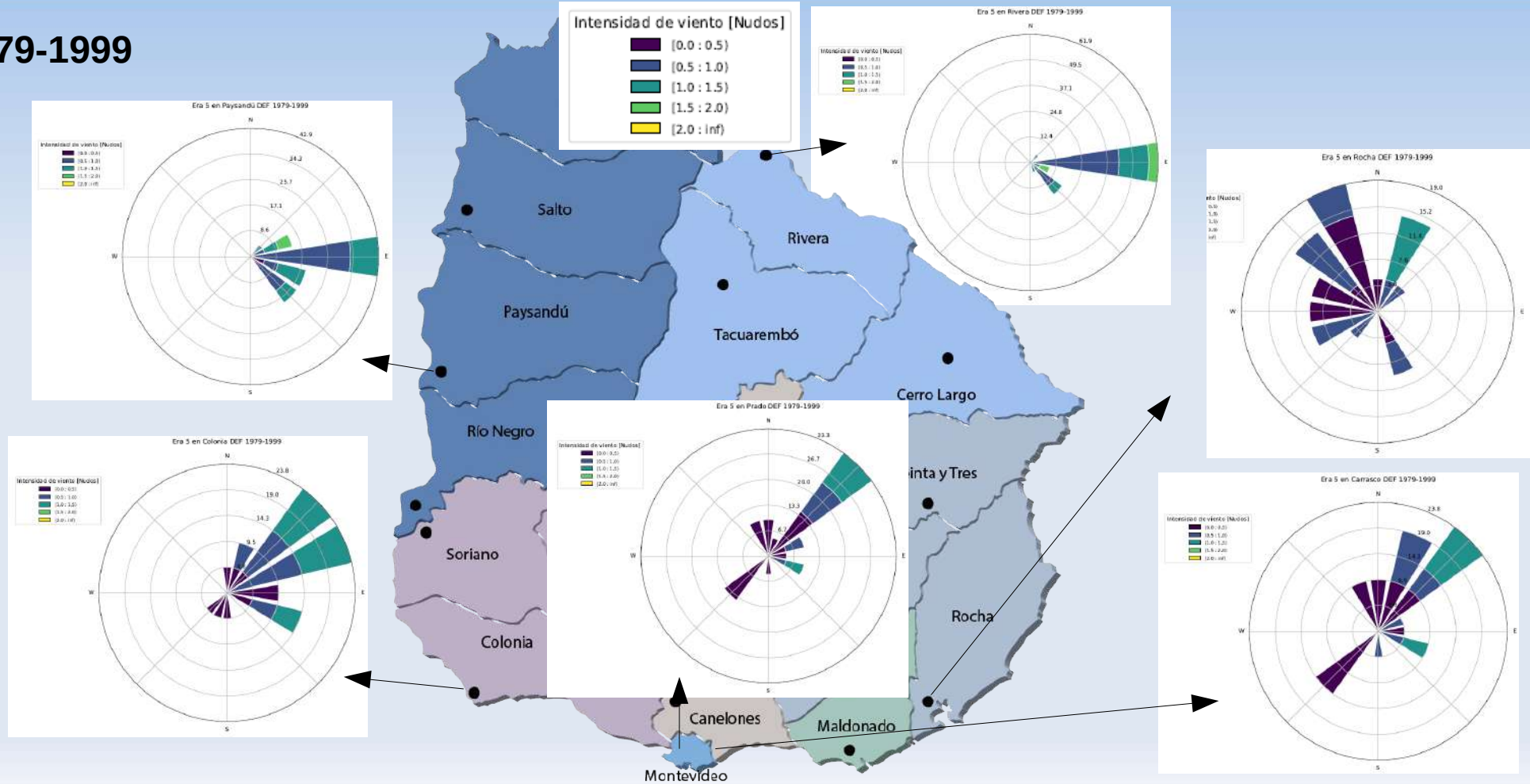
SON – centro-oeste del país

Aumento de vientos con componente E



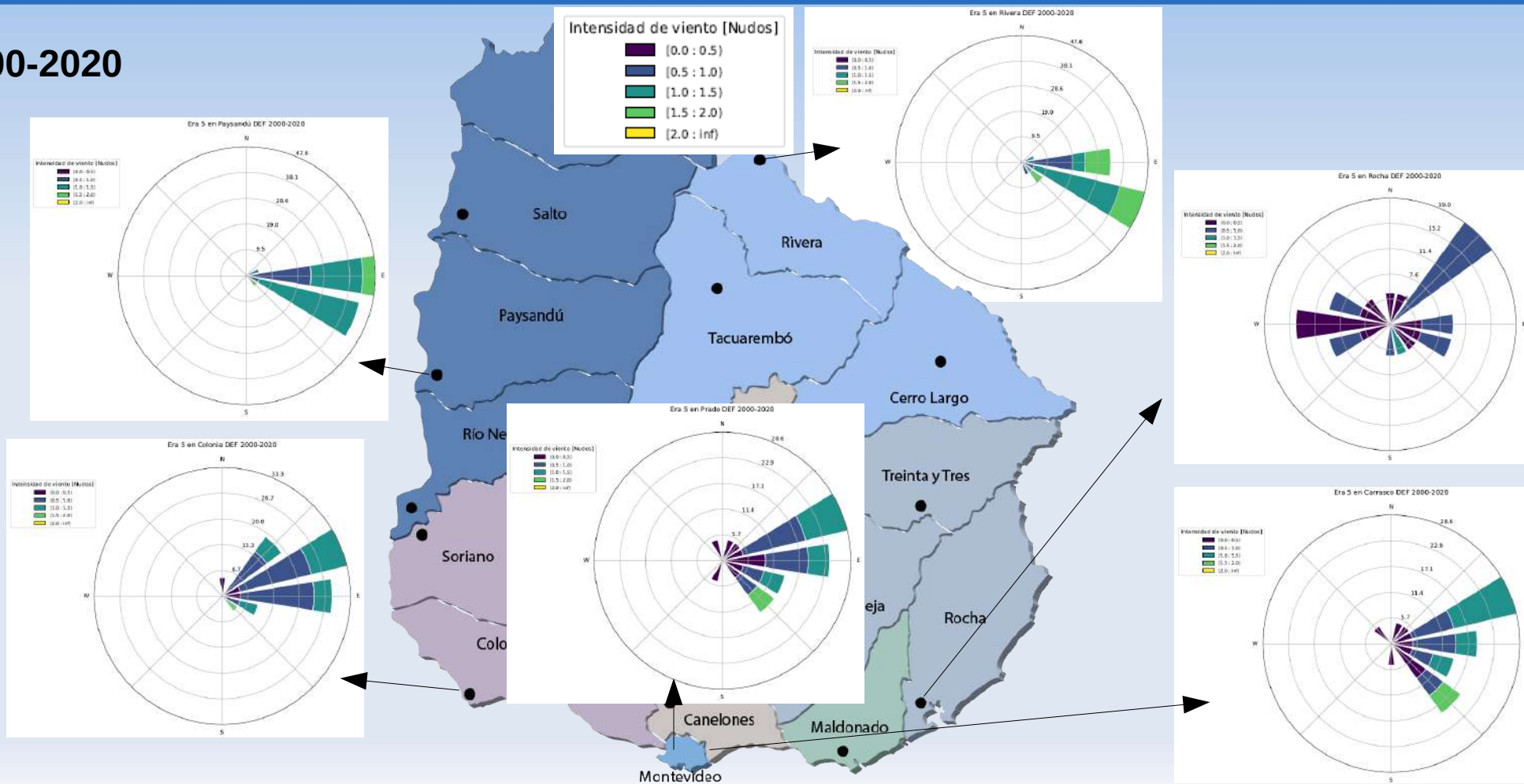
Variabilidad media estacional - Otoño

1979-1999



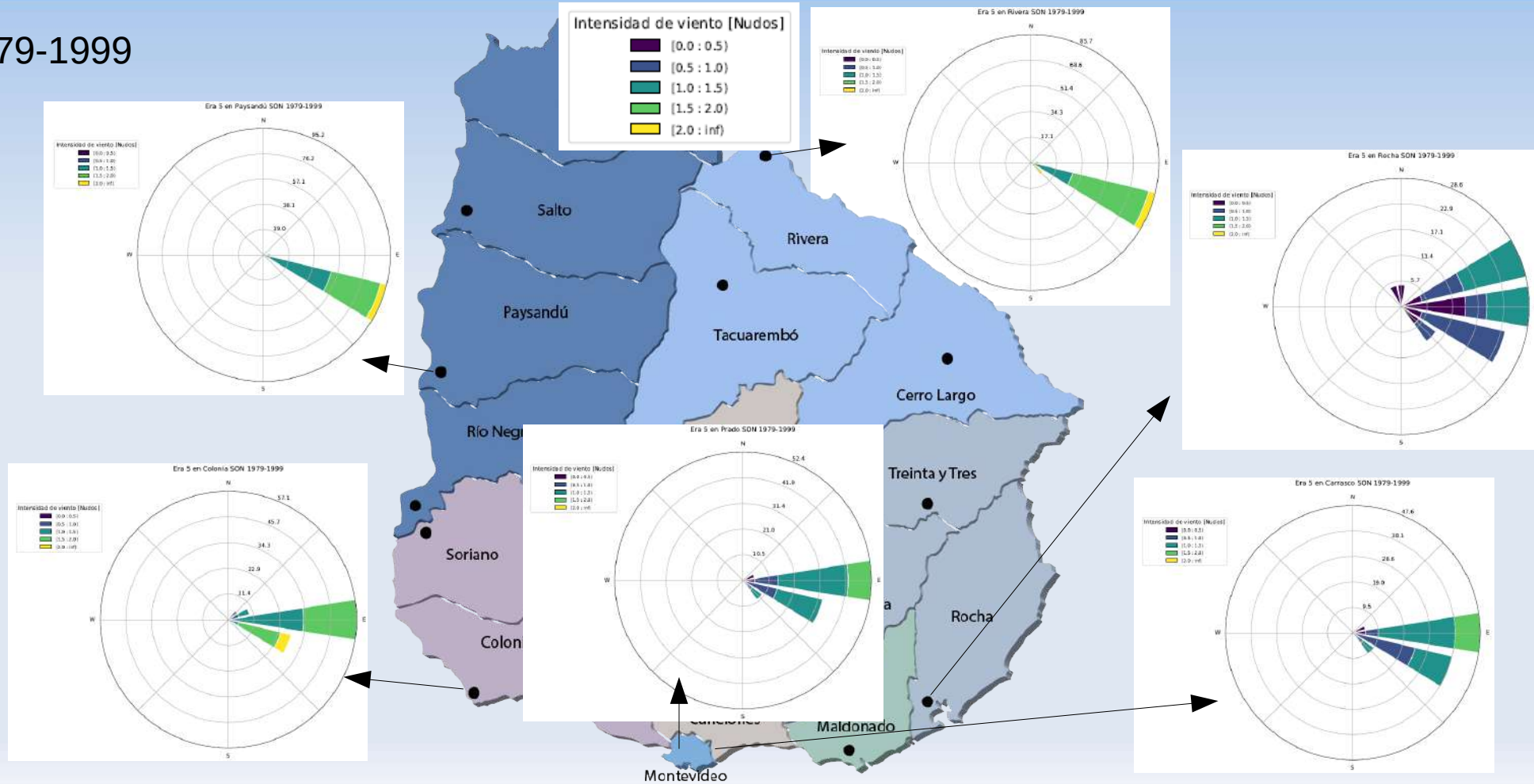
Variabilidad media estacional - Otoño

2000-2020



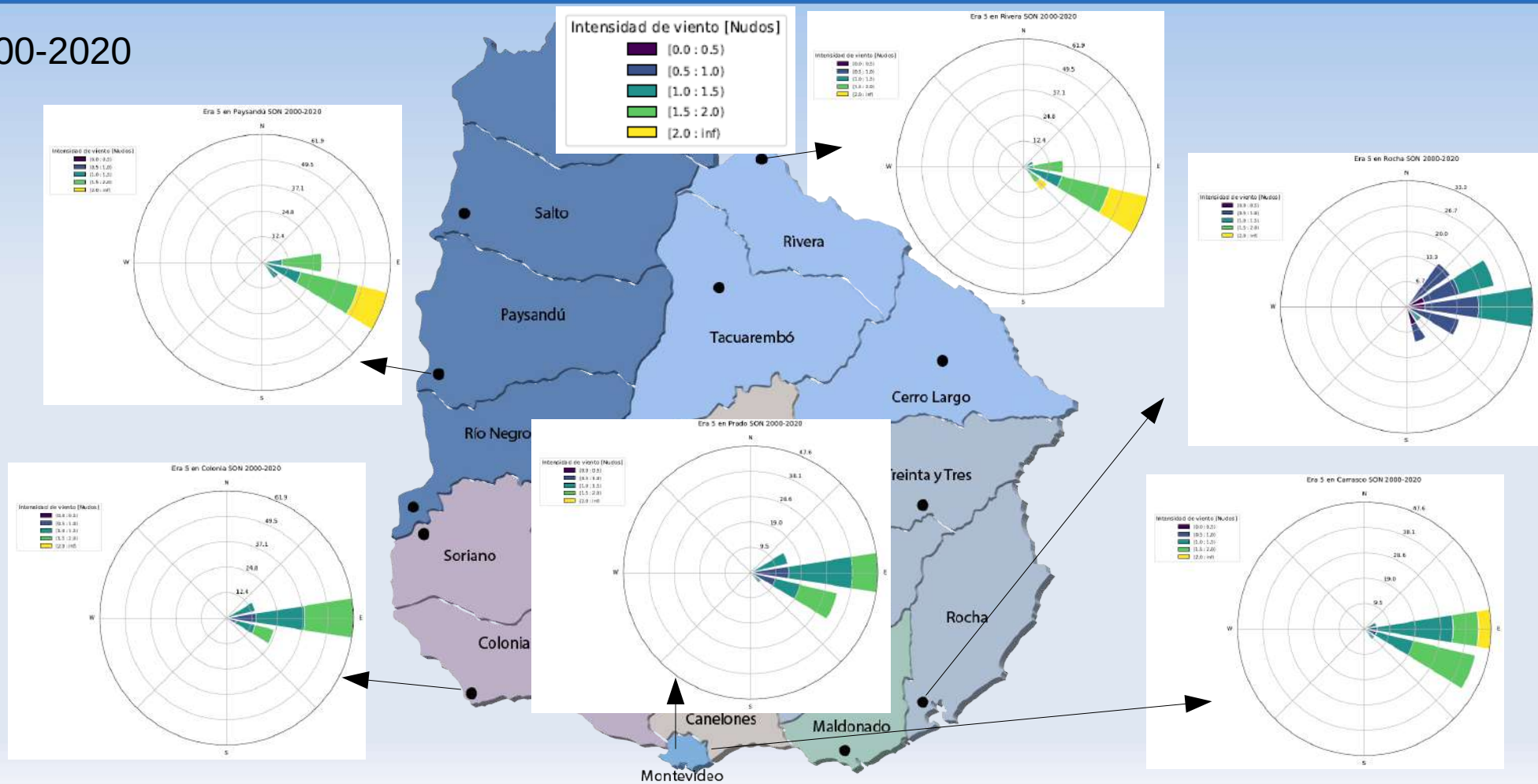
Variabilidad media estacional - Primavera

1979-1999



Variabilidad media estacional - Primavera

2000-2020



Rachas

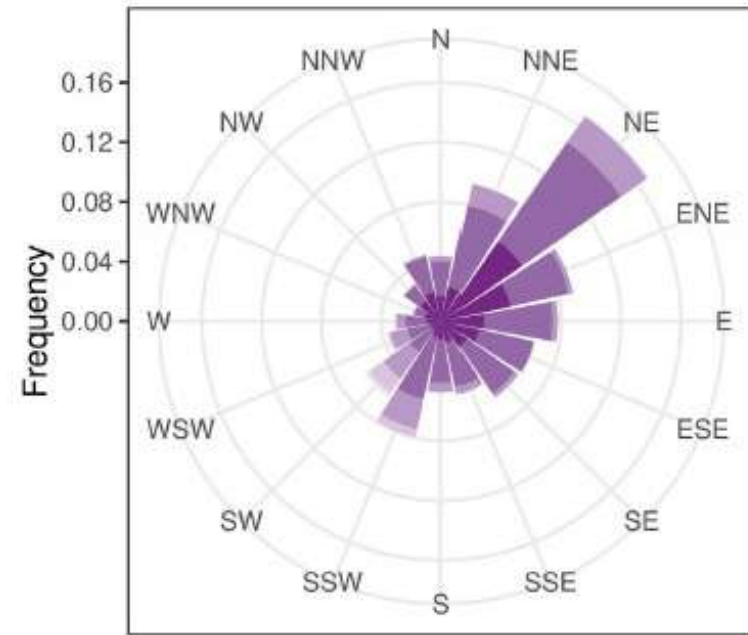
- Estaciones automáticas miden datos cada 10 minutos de:
 - Intensidad promedio en 10 minutos (U_{medio})
 - Intensidad máxima de duración 3 s en el período de 10 minutos (U_{max})
- **Definición de racha:**
Eventos de máxima intensidad del viento con duración de 3 s, medidos en un intervalo de 10 minutos, tal que
 $U_{max} > U_{medio} + 10$ nudos

Características de rachas

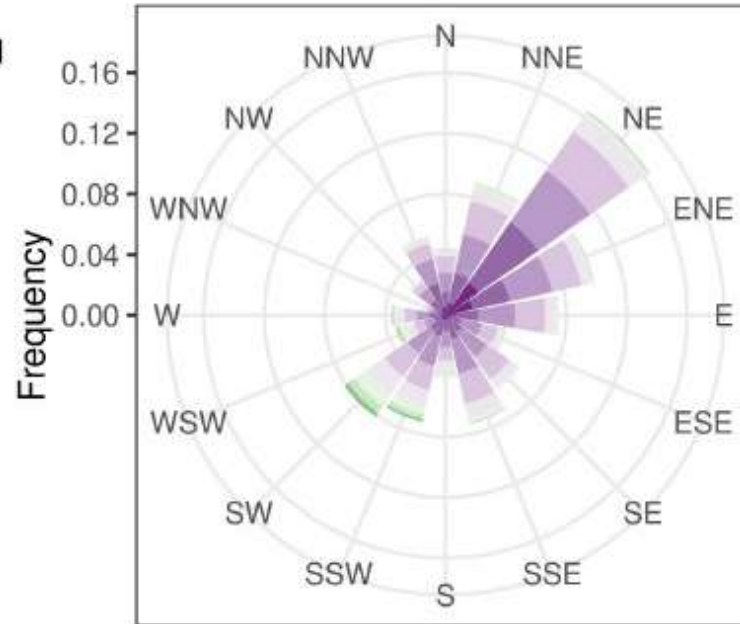
U medio

PRADO

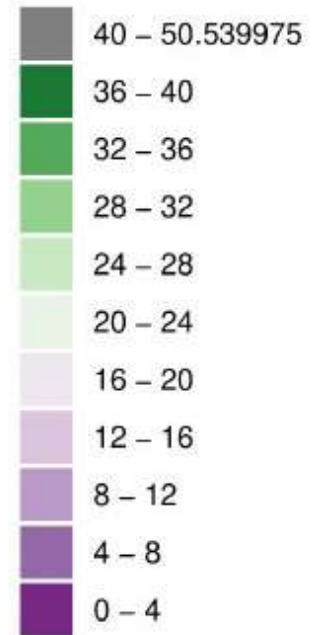
U max



Wind Speed



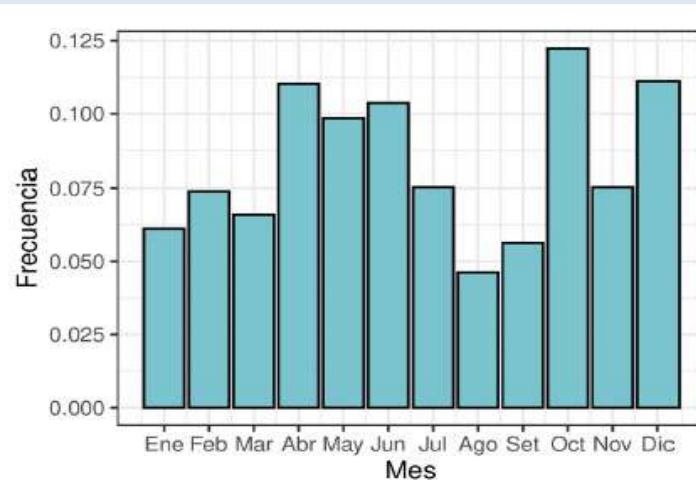
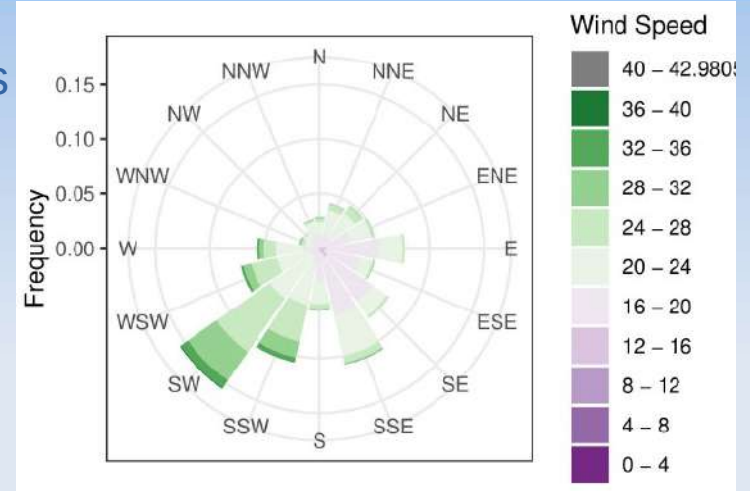
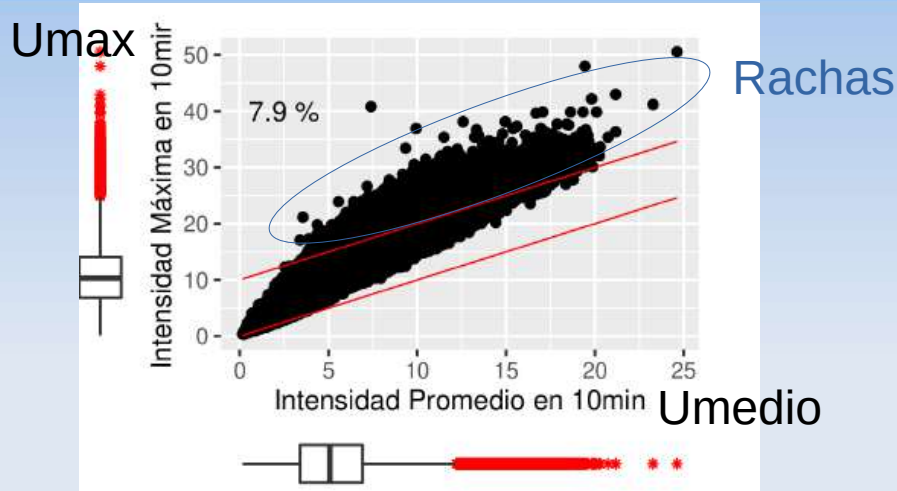
Wind Speed



Características de rachas

PRADO

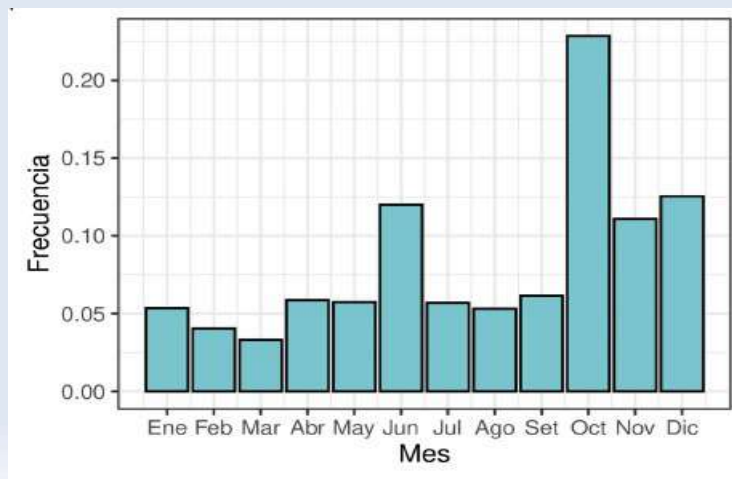
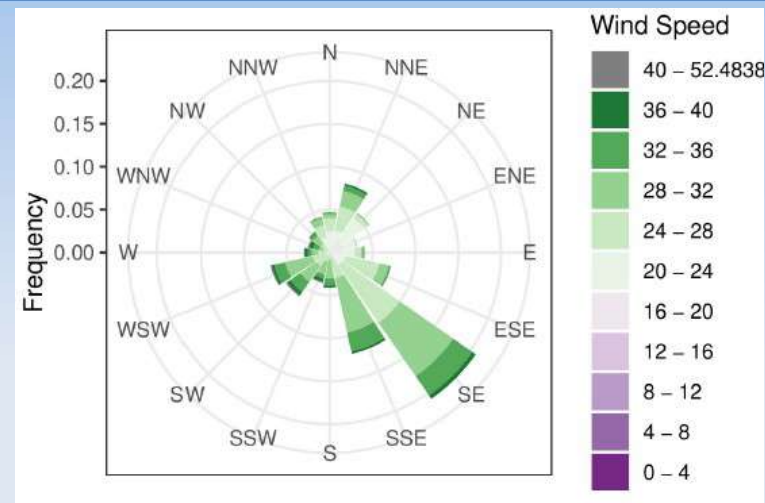
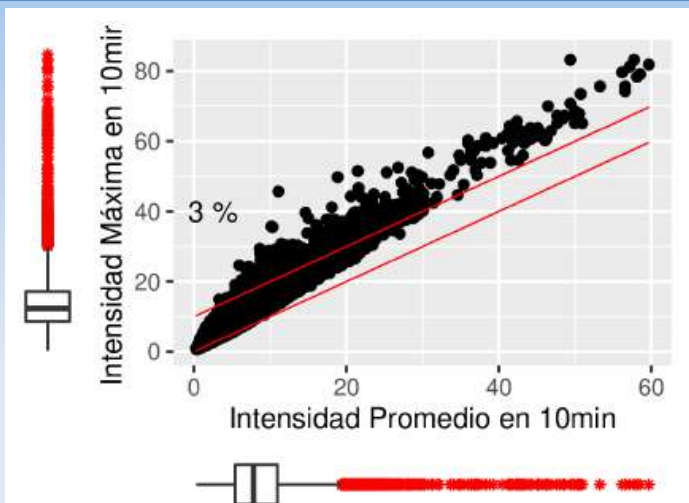
Rachas más frecuentes del suroeste, en otoño y primavera.



Características de rachas

COLONIA

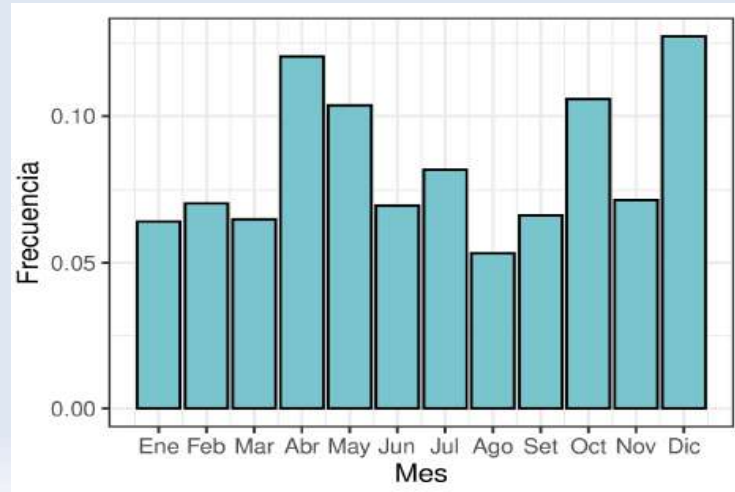
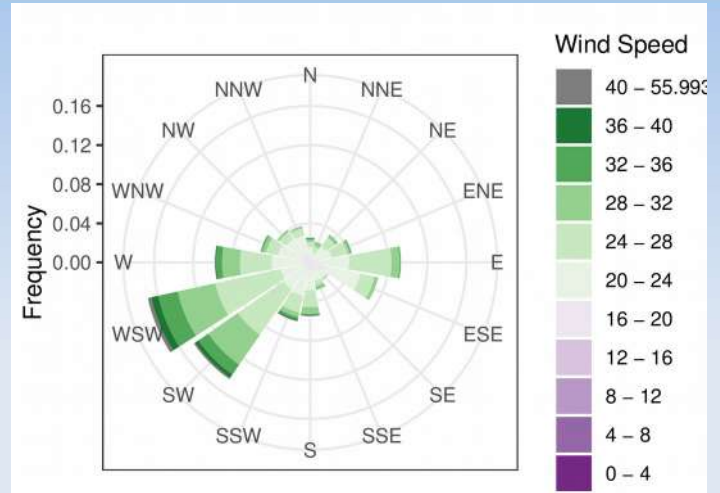
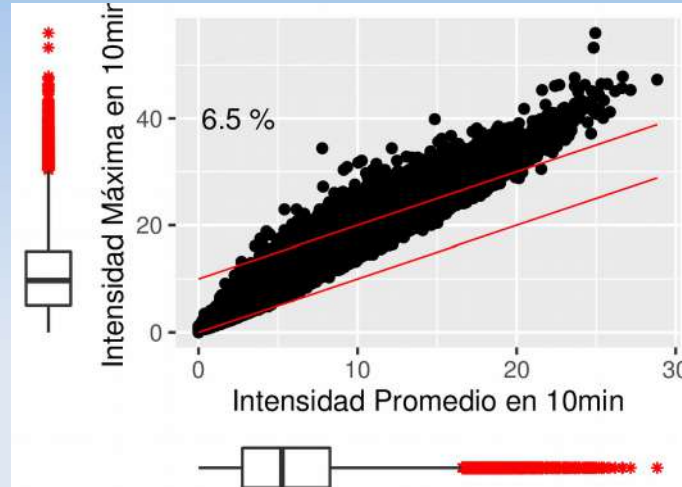
Rachas más frecuentes del sureste, en primavera.



Características de rachas

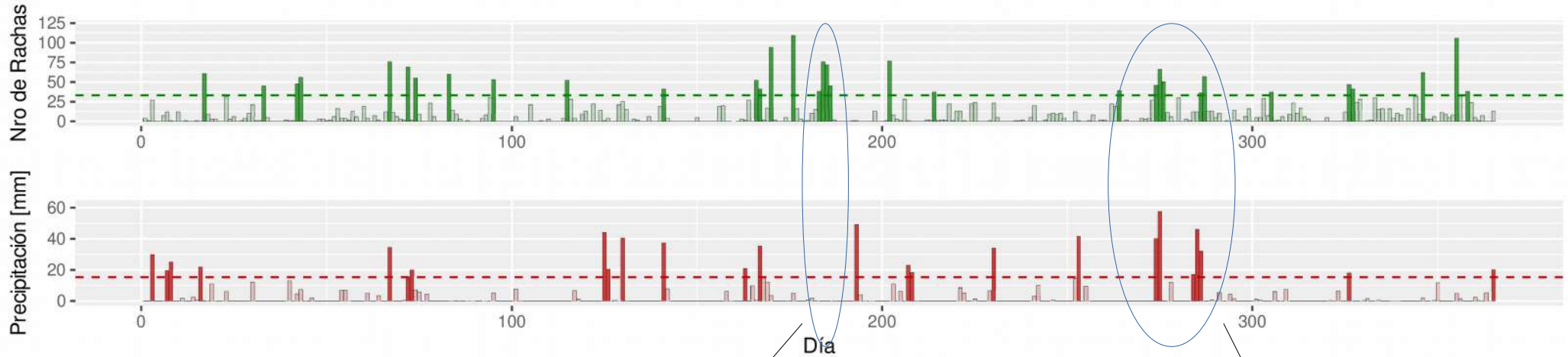
ROCHA

Rachas más frecuentes del suroeste, en otoño y primavera.



Características de rachas

Días con muchas rachas coinciden a veces con precipitaciones intensas.



Prado, 2019

Días con rachas intensas sin precipitación pueden estar asociados a un frente frío.

Días con rachas+precipitaciones intensas están asociados a eventos convectivos severos.

DÍA 2

En el marco de la elaboración del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático en
Ciudades e Infraestructuras (NAP Ciudades)

Vientos en Uruguay

Variabilidad observada, tendencias
y proyecciones bajo escenarios de
cambio climático

Presenta: Dr. Marcelo Barreiro.
Departamento de Ciencias de la Atmósfera,
Instituto de Física - Facultad de Ciencias (UDEAR).

Fernando Arizmendi, Romina Trinchin
Instituto Uruguayo de Meteorología
Nicolas Diaz

Depto de Ciencias de la Atmósfera, Instituto de
Física, Facultad de Ciencias



FACULTAD DE
CIENCIAS
UDEAR | fciencias.edu.uy



Estructura de las charlas

- **Introducción**

- Características de los vientos
- Fenómenos meteorológicos asociados a vientos intensos en Uruguay

DÍA 1

- **Datos utilizados**

- INUMET, reanálisis atmosféricos

- **Variabilidad y tendencia de los vientos**

- Escala horaria, diaria, estacional, rachas, usando datos de estaciones meteorológicas y de reanálisis

- **Eventos extremos de viento y su asociación con regímenes de circulación**

- **Proyecciones a futuro**

DÍA 2

Tendencias en vientos medios en Uruguay

Tendencias 1979-2020

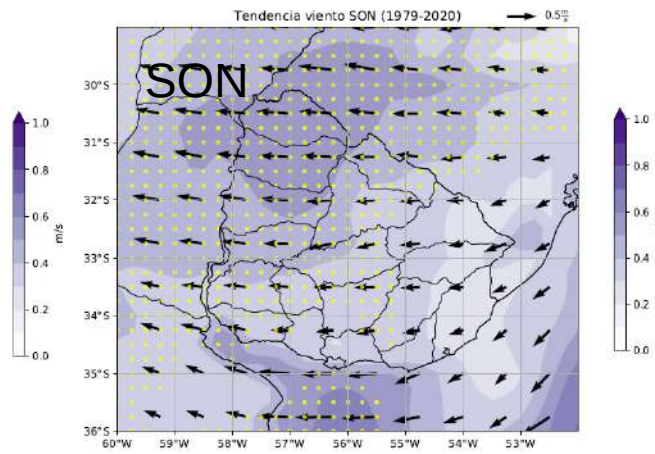
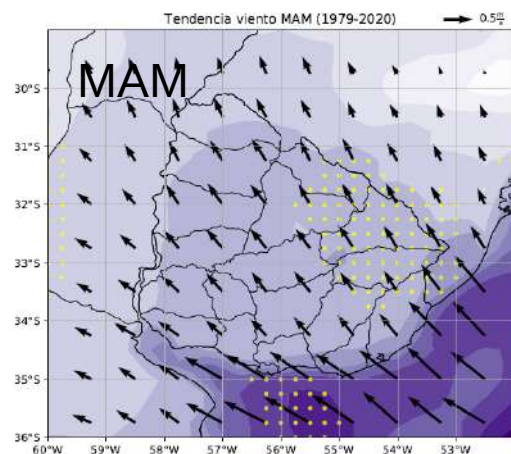
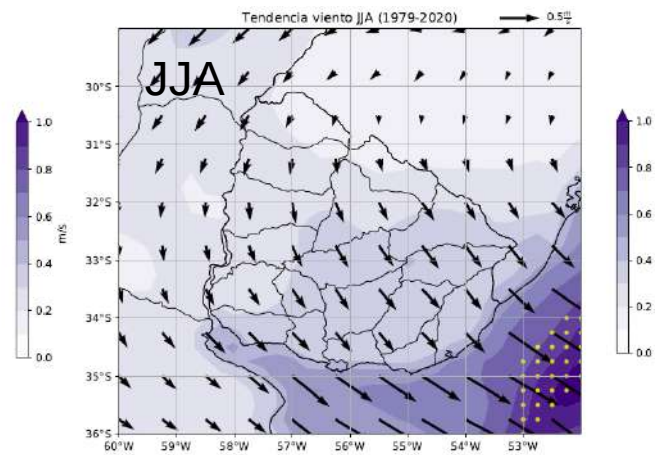
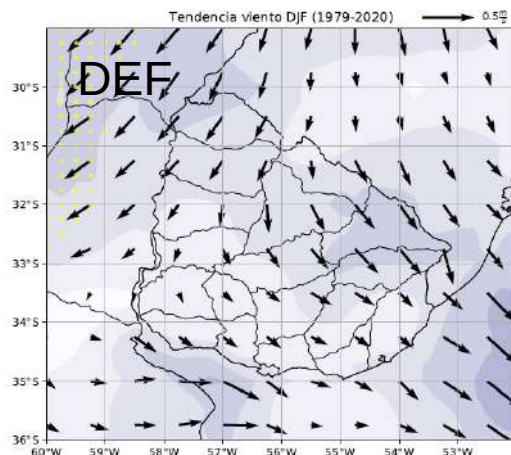
Punteado amarillo indica tendencias estadísticamente significativas

Cambios significativos en otoño y primavera, es decir, en las estaciones de transición:

MAM - este del país

SON – centro-oeste del país

Aumento de vientos con componente E



Estructura de las charlas

- **Introducción**
 - Características de los vientos
 - Fenómenos meteorológicos asociados a vientos intensos en Uruguay
- **Datos utilizados**
 - INUMET, reanálisis atmosféricos
- **Variabilidad y tendencia de los vientos**
 - Escala horaria, diaria, estacional, rachas, usando datos de estaciones meteorológicas y de reanálisis
- **Eventos extremos de viento y su asociación con regímenes de circulación**
- **Proyecciones a futuro**

Extremos de viento

- Son los eventos más destructivos
- ¿Ha cambiado su frecuencia de ocurrencia?
- ¿Que dicen las proyecciones sobre estos eventos?

Extremos de viento

- Son los eventos más destructivos
- ¿Ha cambiado su frecuencia de ocurrencia?
- ¿Que dicen las proyecciones sobre estos eventos?
- Estas preguntas no podemos responderlas usando los datos observados pues el período que tenemos no es suficientemente largo

Extremos de viento

- Son los eventos más destructivos
- ¿Ha cambiado su frecuencia de ocurrencia?
- ¿Que dicen las proyecciones sobre estos eventos?
 - Estas preguntas no podemos responderlas usando los datos observados pues el período que tenemos no es suficientemente largo
 - Tampoco es razonable esperar que los extremos estén bien representados en el reanálisis en esta escala espacial/temporal

Extremos de viento

- Son los eventos más destructivos
 - ¿Ha cambiado su frecuencia de ocurrencia?
 - ¿Que dicen las proyecciones sobre estos eventos?
-
- Estas preguntas no podemos responderlas usando los datos observados pues el período que tenemos no es suficientemente largo
 - Tampoco es razonable esperar que los extremos estén bien representados en el reanálisis en esta escala espacial/temporal
 - Usamos entonces un análisis combinado reanálisis-datos observados

Extremos de viento

- Son los eventos más destructivos
- ¿Ha cambiado su frecuencia de ocurrencia?
- ¿Que dicen las proyecciones sobre estos eventos?
- Como vimos, los eventos extremos de viento están asociados a ciertas condiciones atmosféricas de mesoescala o sinóptica.

Extremos de viento

- Son los eventos más destructivos
- ¿Ha cambiado su frecuencia de ocurrencia?
- ¿Que dicen las proyecciones sobre estos eventos?
- Como vimos, los eventos extremos de viento están asociados a ciertas condiciones atmosféricas de mesoescala o sinóptica.

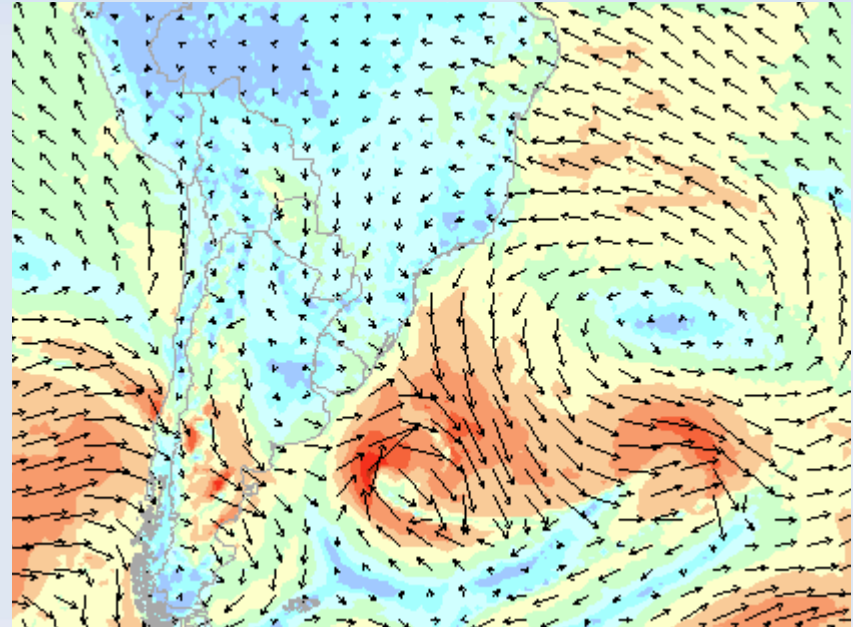
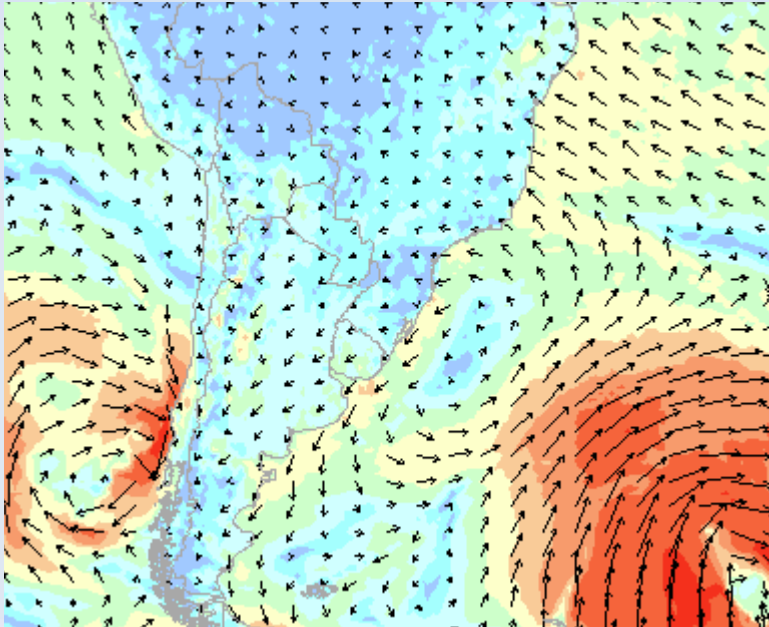
Metodología: calculamos regímenes de circulación recurrentes en el reanálisis y los asociamos a extremos de viento observados.

→ el cambio en la frecuencia de ocurrencia pasado o futura de los regímenes de viento implica un cambio en la ocurrencia de eventos extremos de viento.

→ Permite extrapolar el registro observado de vientos a un período mayor.

Regímenes de circulación

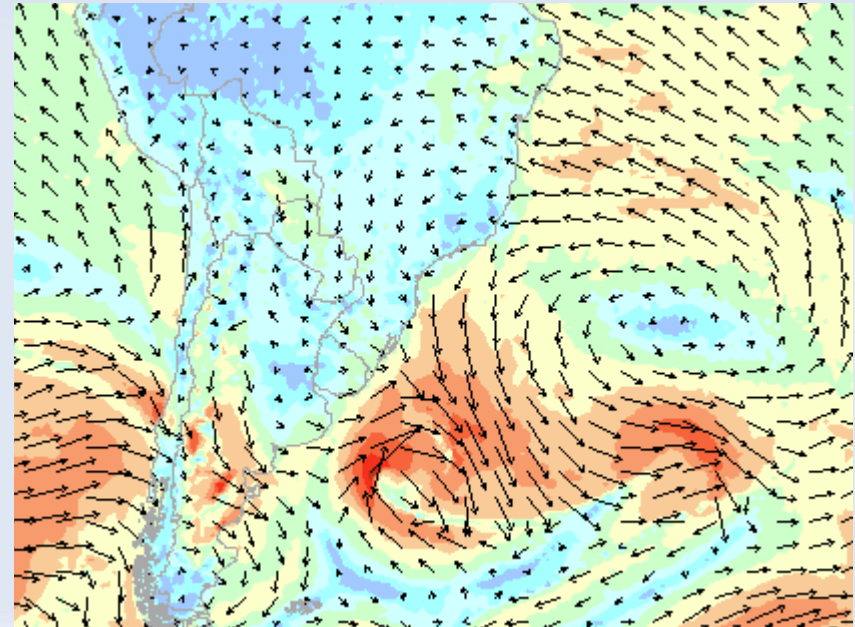
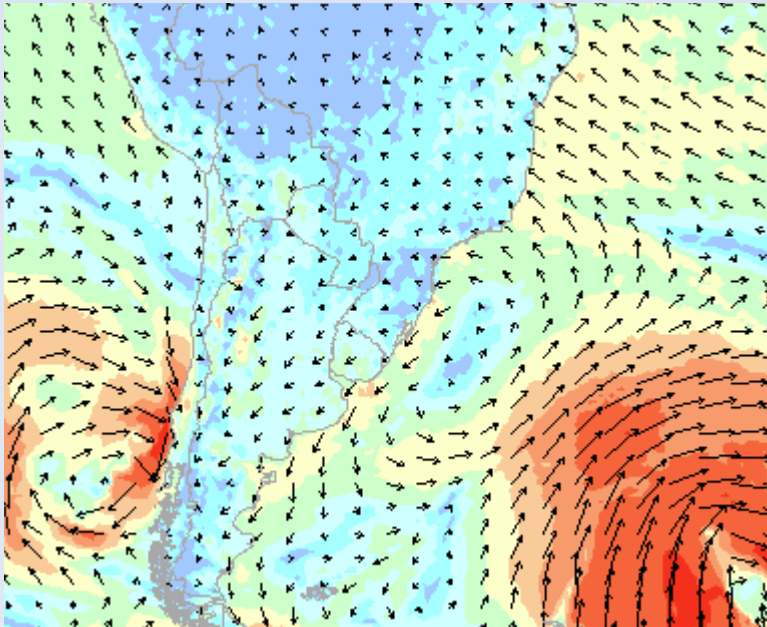
La atmósfera es turbulenta: en dos días cualesquiera la circulación es bien diferente.



Regímenes de circulación

La atmósfera es turbulenta: en dos días cualesquiera la circulación es bien diferente.

Una forma de sintetizar el comportamiento de la atmósfera es buscar grupos de patrones de circulación más recurrentes.

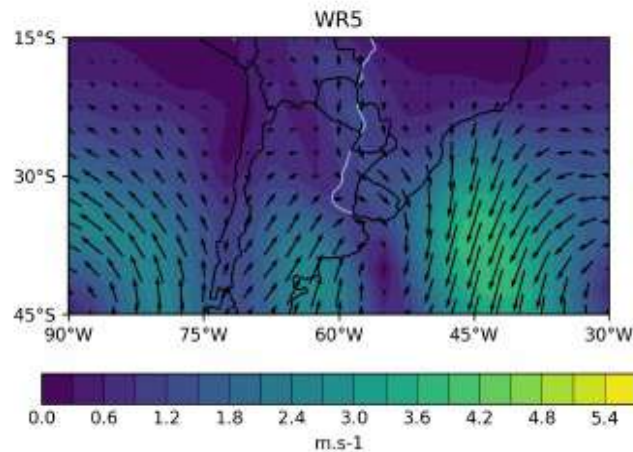
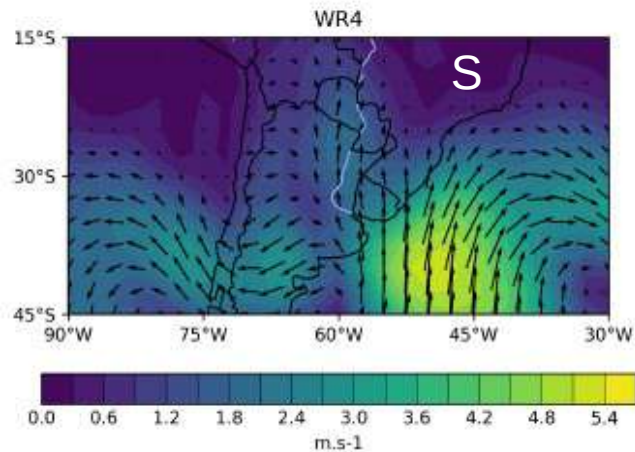
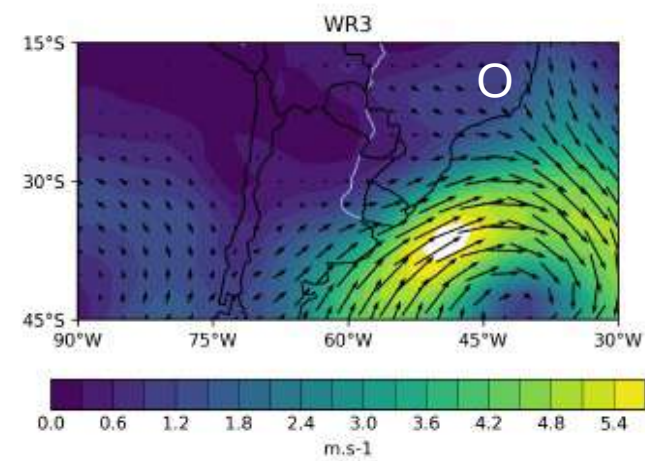
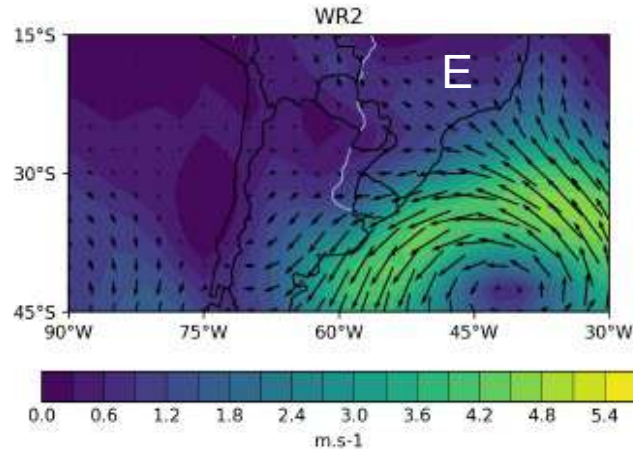
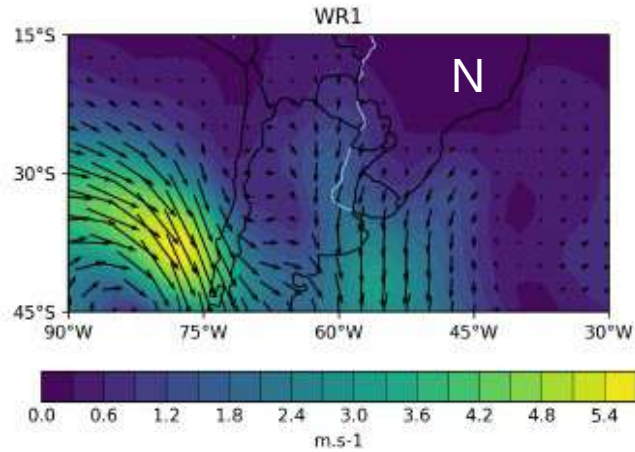




FACULTAD DE
CIENCIAS
UDELAR | fciencias.edu.uy

Regímenes de circulación (WRs)

Verano, otoño, primavera



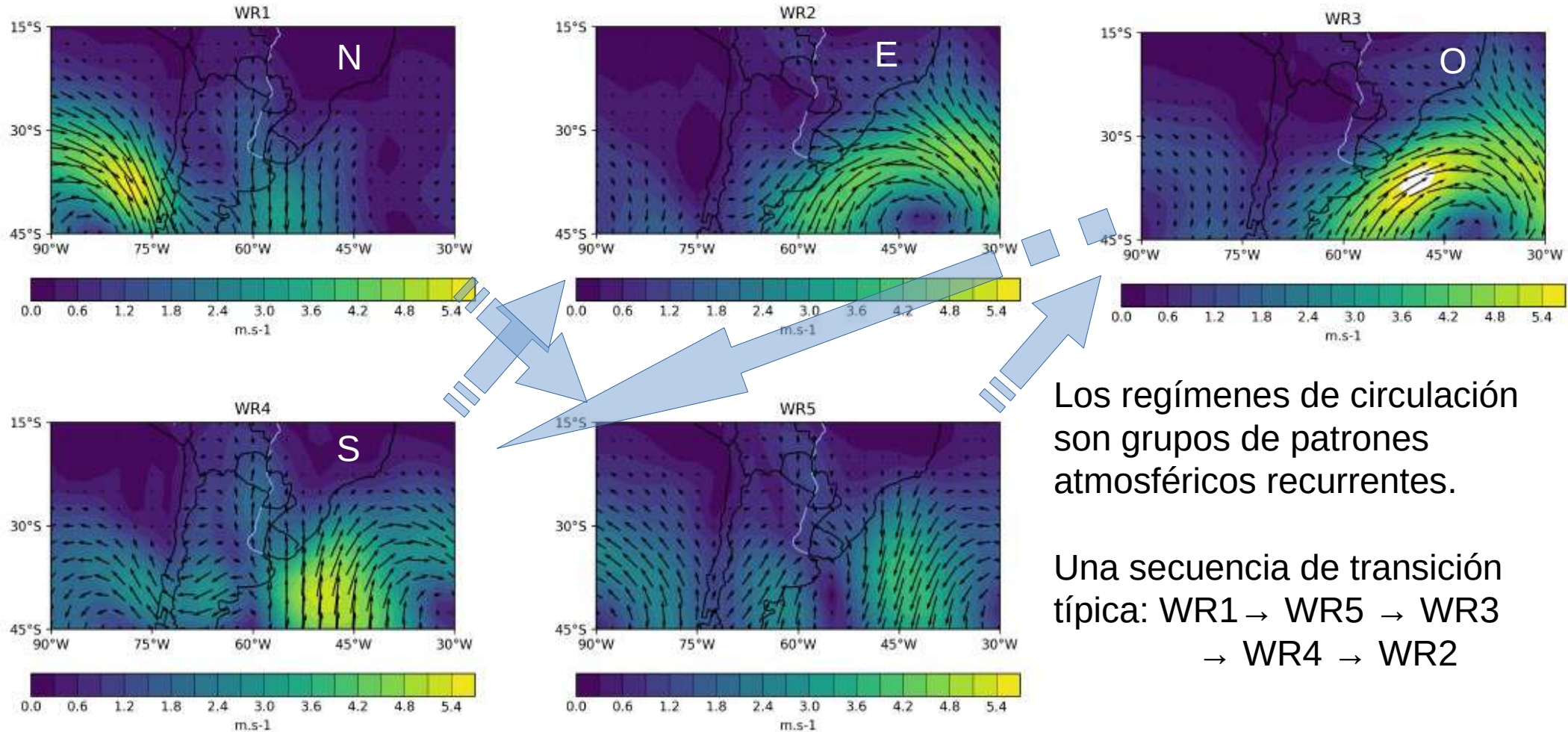
Los regímenes de circulación
son grupos de patrones
atmosféricos recurrentes
→ cada día tiene asociado
un WR.



FACULTAD DE
CIENCIAS
UDELAR | fcien.edu.uy

Regímenes de circulación (WRs)

Verano, otoño, primavera

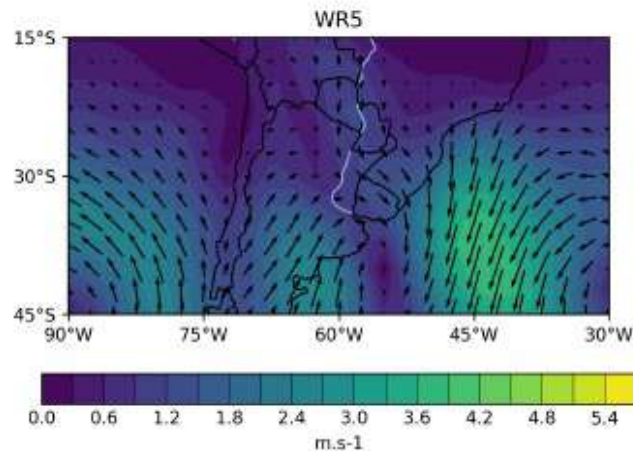
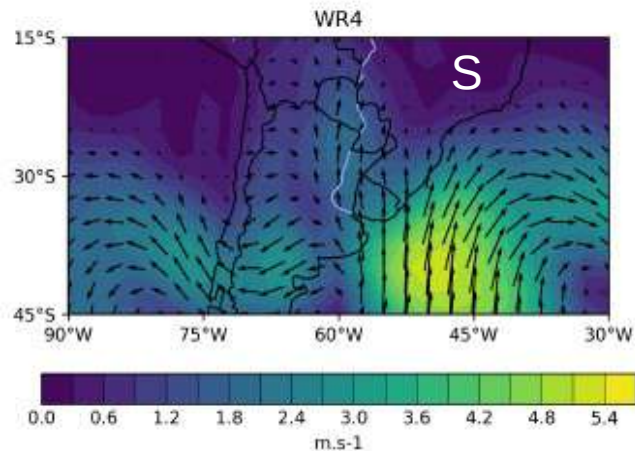
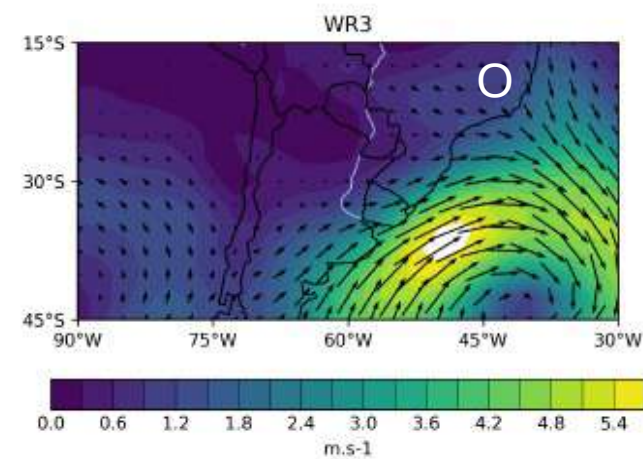
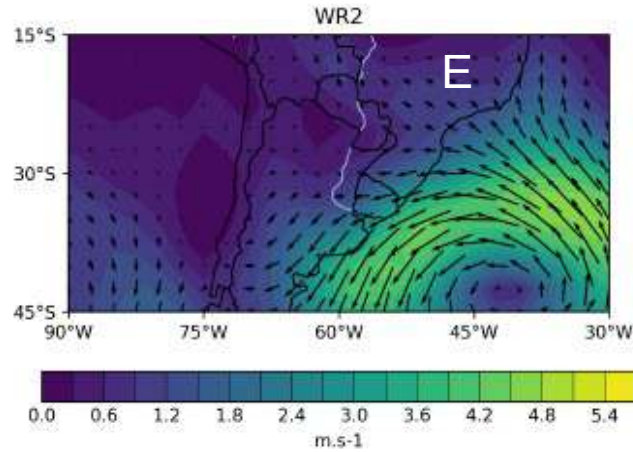
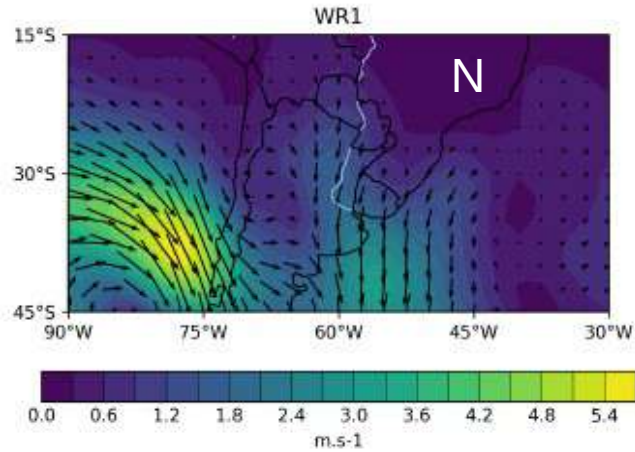




FACULTAD DE
CIENCIAS
UDELAR | fciencias.edu.uy

Regímenes de circulación (WRs)

Verano, otoño, primavera



Los regímenes de circulación son grupos de patrones atmosféricos recurrentes.

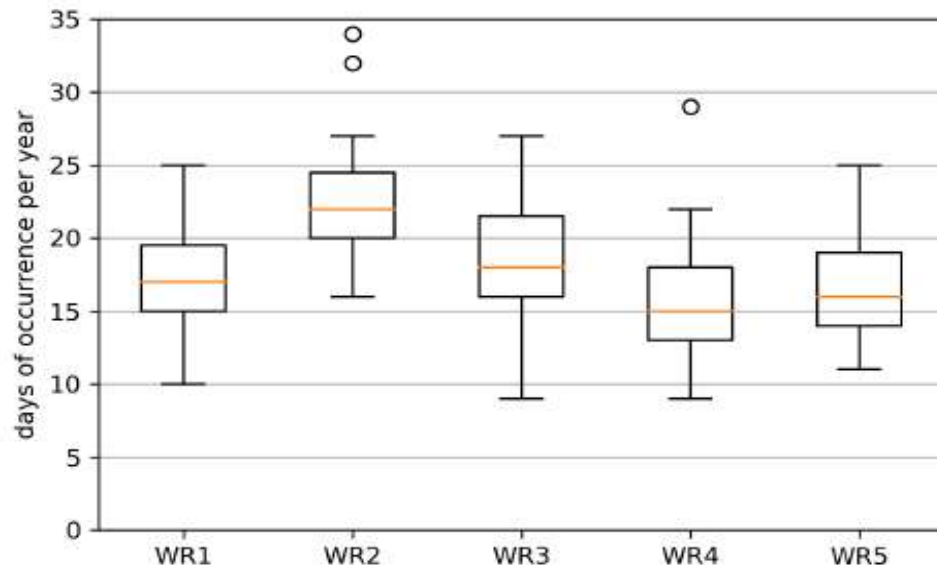
- ¿Como se asocian a vientos extremos en superficie?
- ¿Su frecuencia de ocurrencia cambió?
- ¿Su frecuencia de ocurrencia cambiará a futuro?

Variabilidad interanual de los WRs

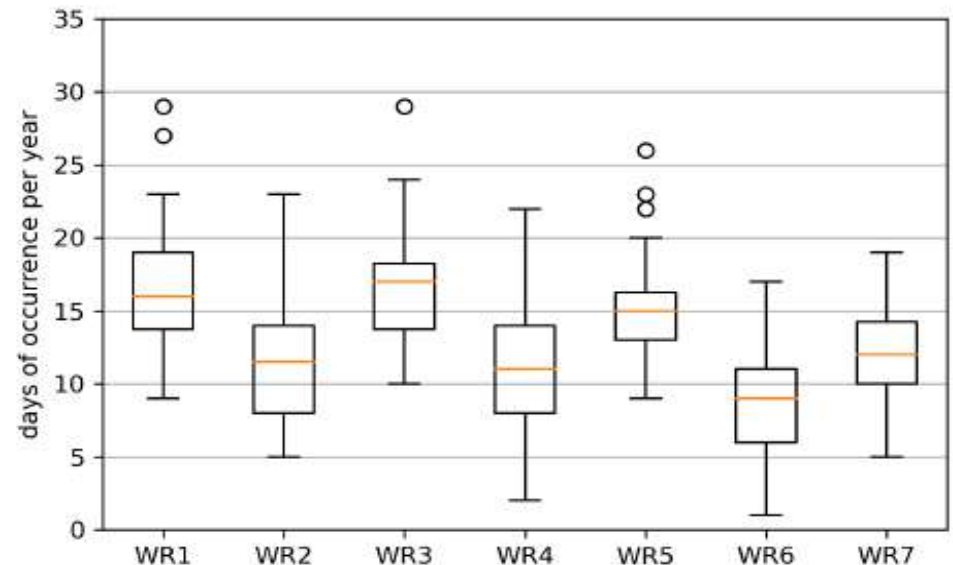
La frecuencia de ocurrencia de cada WR es diferente y varía año a año.
ENSO, PDO, SAM modulan la frecuencia de ocurrencia de los WRs.

→ la señal de CC hay que encontrarla bajo esa gran variabilidad

DEF (5 WRs)



JJA (7 WRs)

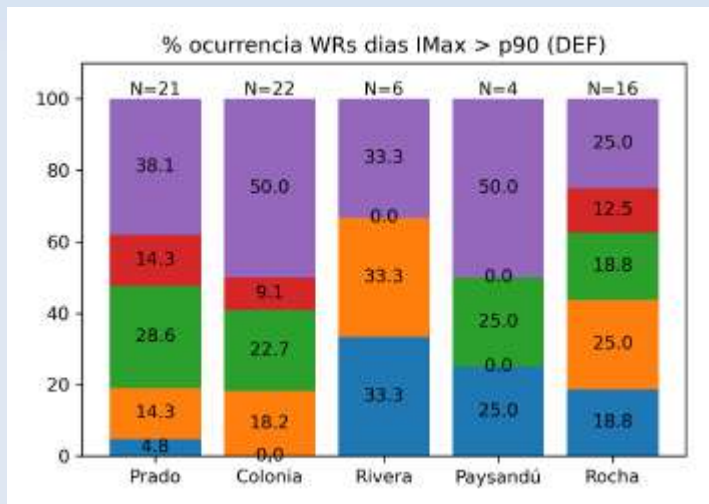
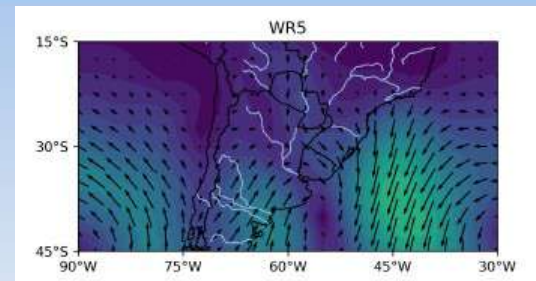
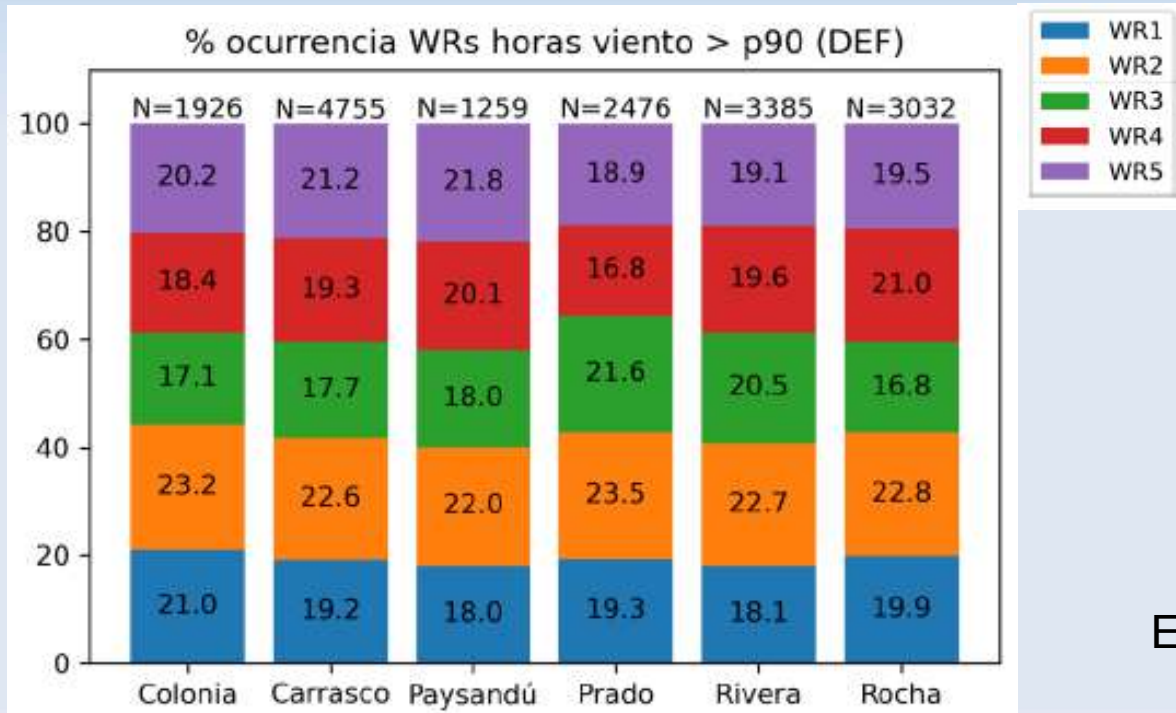


Asociación de WRs a extremos de viento

- Consideramos el p90 de intensidad de vientos horarios en cada una de las 6 estaciones meteorológicas
 - Asociamos WRs a esos días. → ¿Cual es el WR más asociado?
 - Calculamos la probabilidad de que ocurra un evento extremo de p90 dado un WR. Esto toma en cuenta la frecuencia de ocurrencia climatológica de cada WR.
 - ¿Hay WRs específicos asociados a eventos de viento más largos? Ordenamos eventos de viento extremo en función de su duración en horas y asociamos con los WRs.
- Comparamos con mismo análisis para las estaciones automáticas basado en U_{max}

Vientos extremos - Verano

Los 5 WRs están asociados en forma parecida a eventos extremos de viento en las diferentes localidades, pero el WR2 es máximo en todas.

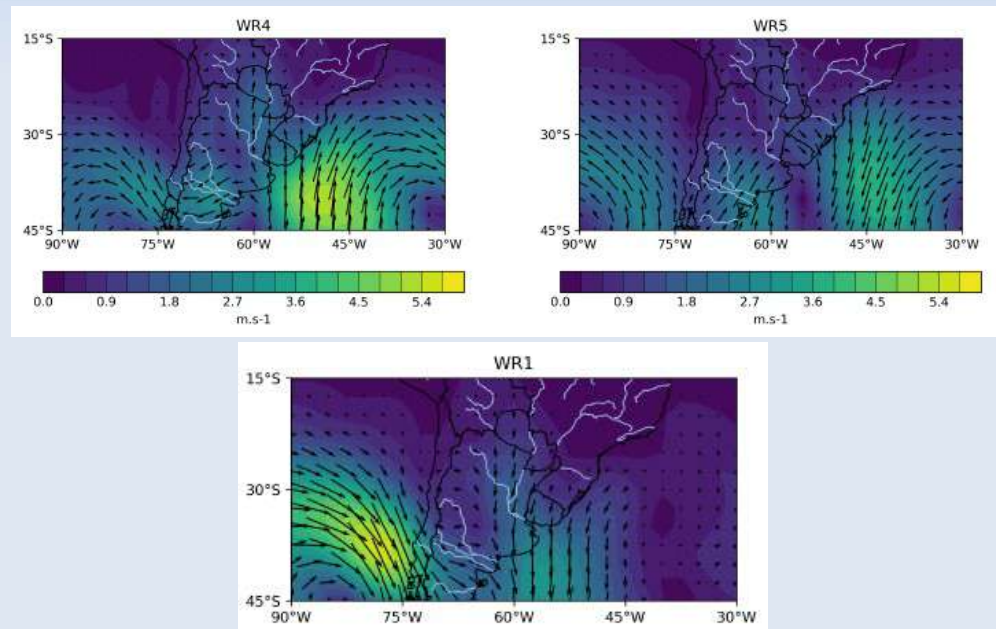
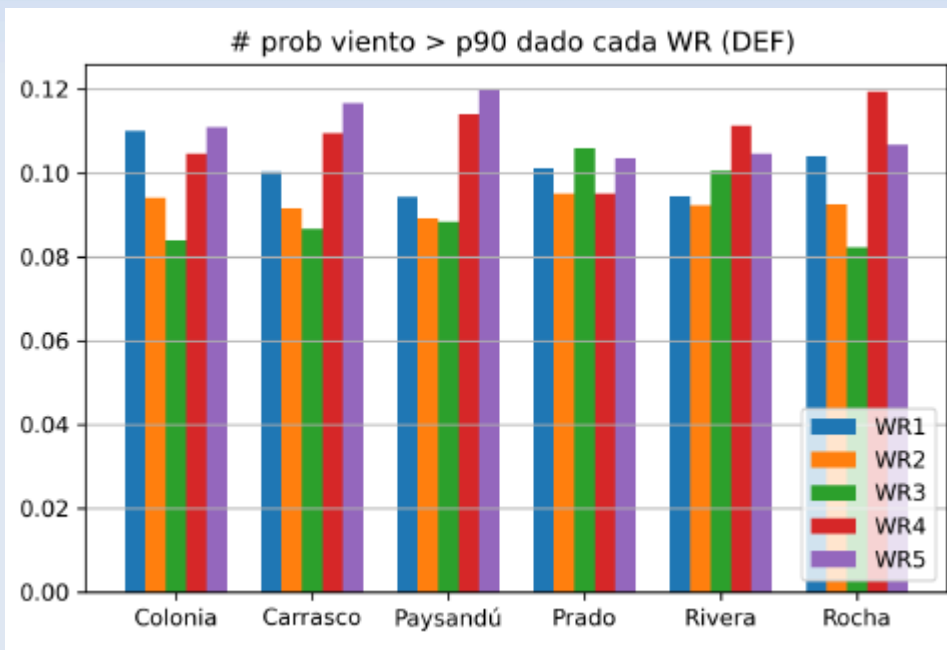


Estac. automaticas muestran prevalencia de WR5 en Umax

Vientos extremos - Verano

Probabilidad de que haya un extremo de viento (p90) dado un WR dado.

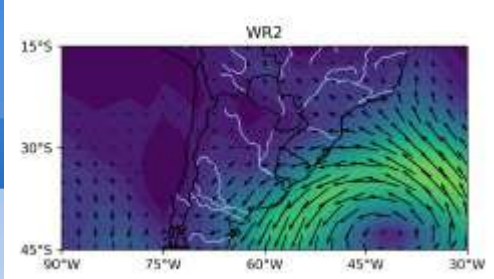
Se nota una prevalencia de los WR4 y WR5 en casi todo el país.
El WR1 en Colonia y Rocha.



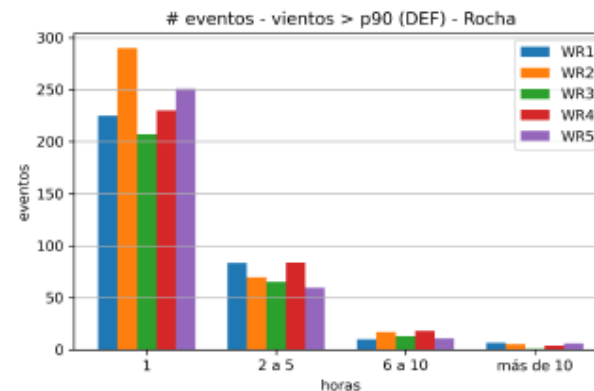
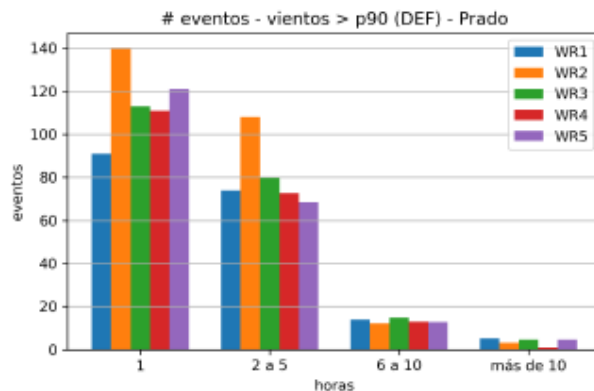
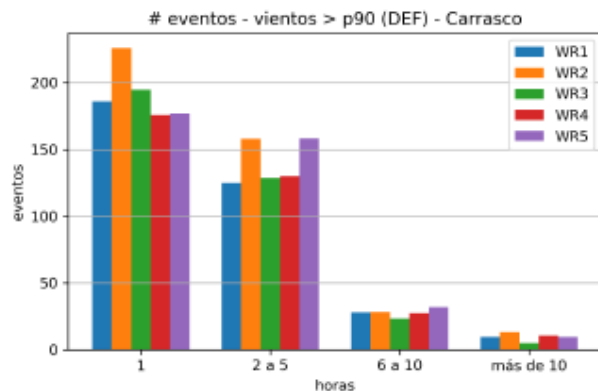
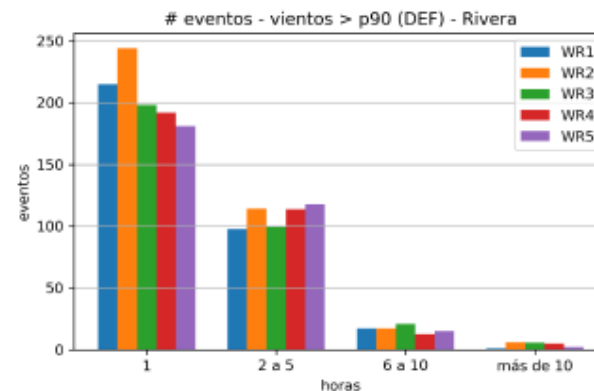
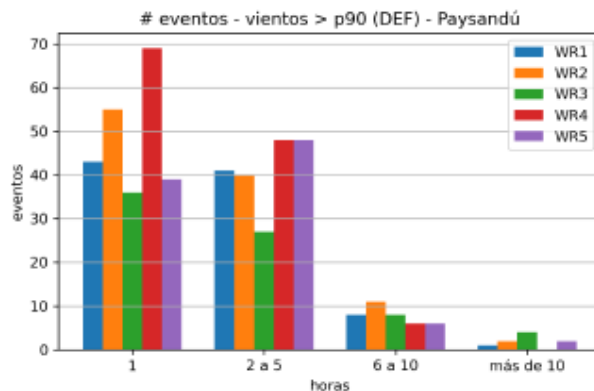
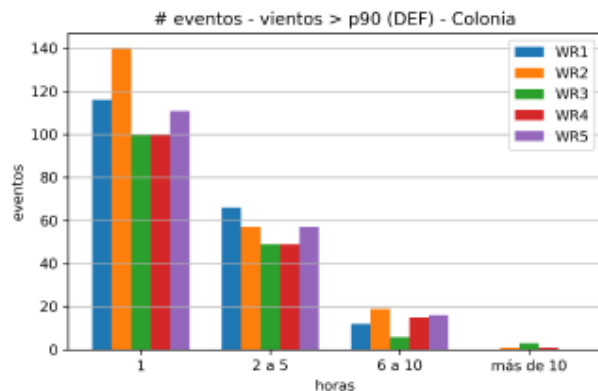


FACULTAD DE
CIENCIAS
UDELAR | fciencias.edu.uy

Vientos extremos - Verano

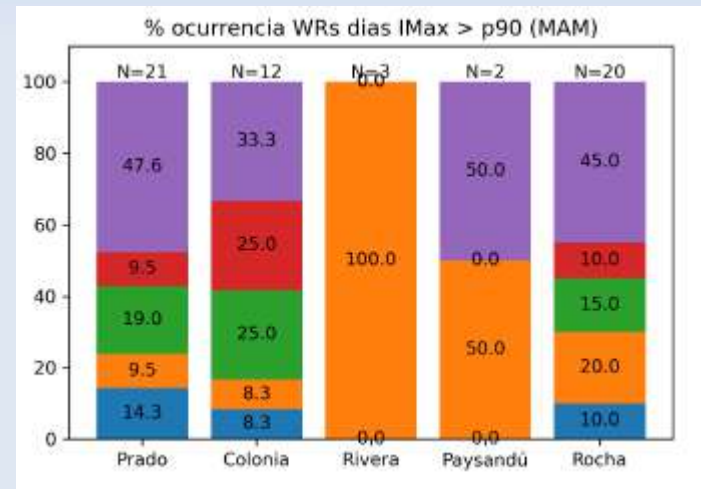
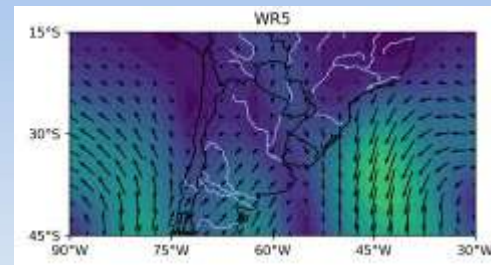
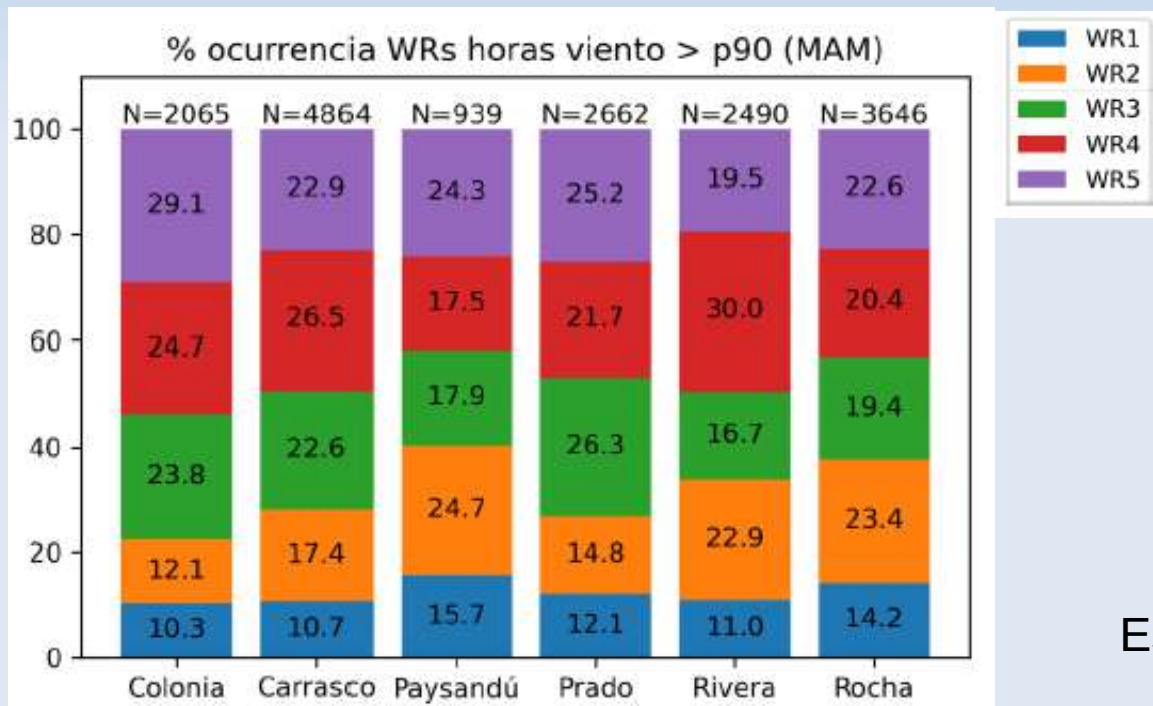


El WR2 parece ser más frecuente en los eventos cortos de viento intenso



Vientos extremos - Otoño

- El WR5 está asociado a eventos extremos de viento en todas las localidades, excepto Rivera donde predomina el WR4.
- El WR1 no está asociado a eventos extremos de viento.



Estac. automaticas muestran prevalencia de WR5 en Umax

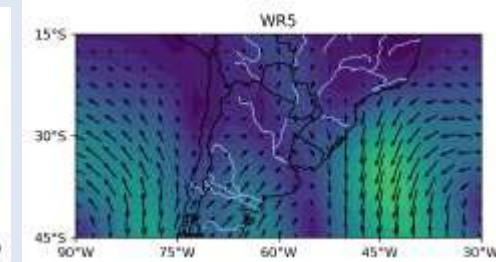
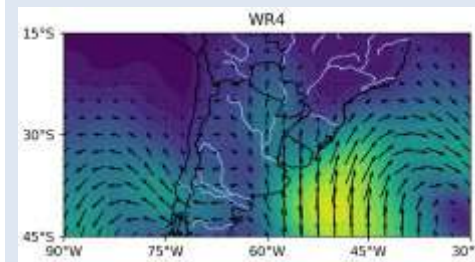
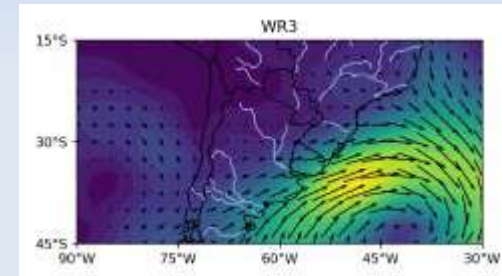
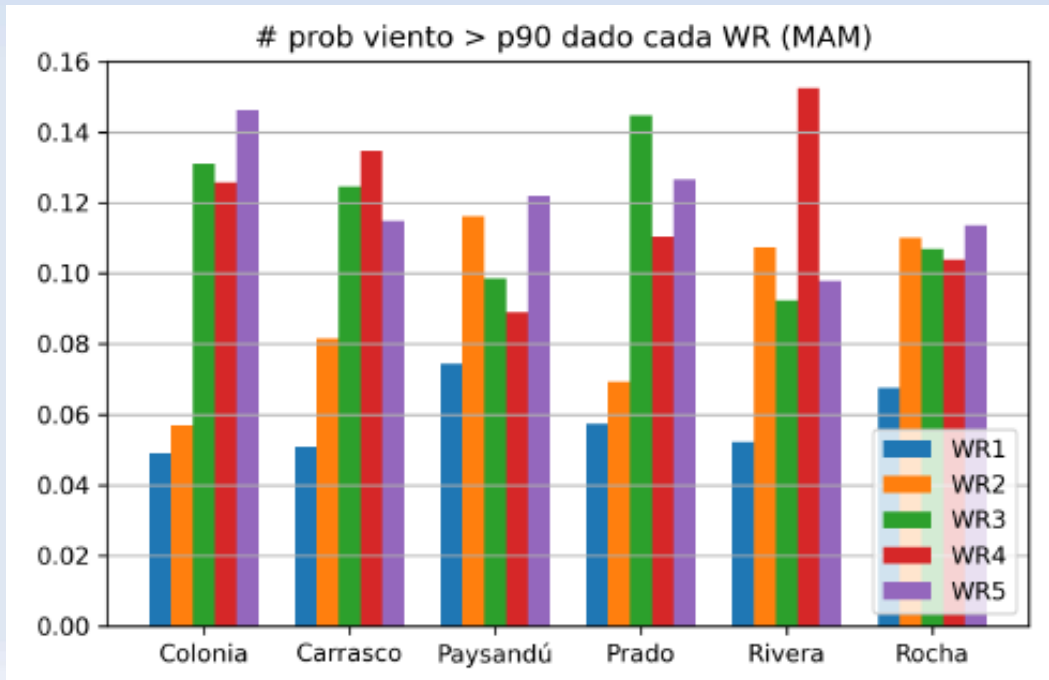


FACULTAD DE
CIENCIAS
UDELAR | fcien.edu.uy

Vientos extremos - Otoño

Probabilidad de que haya un extremo de viento (p90) dado un WR dado.

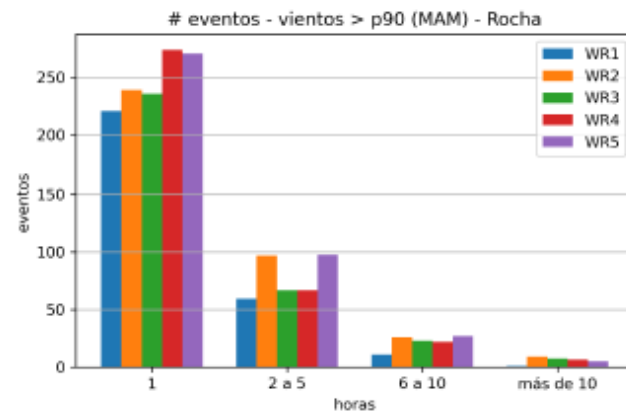
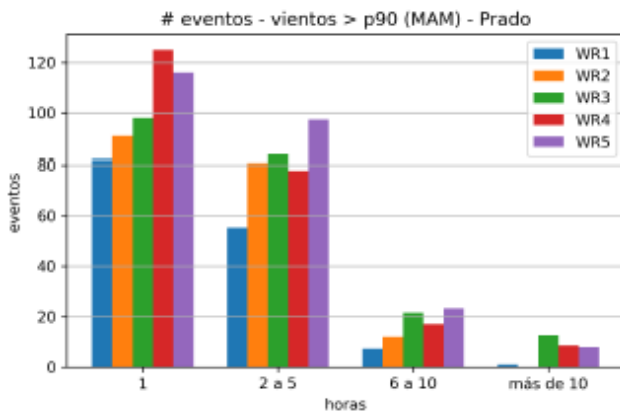
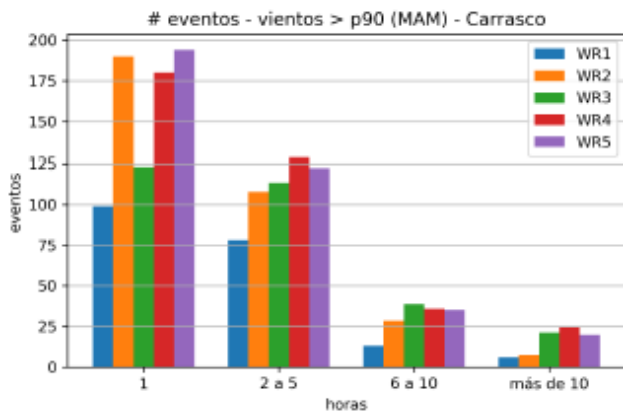
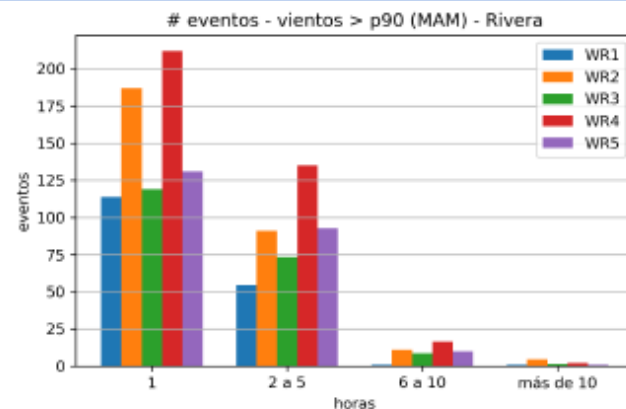
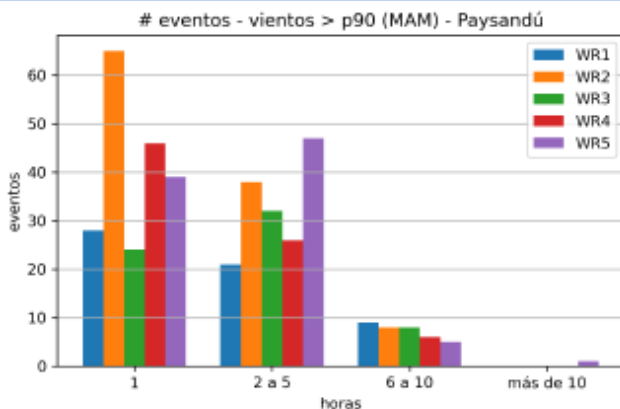
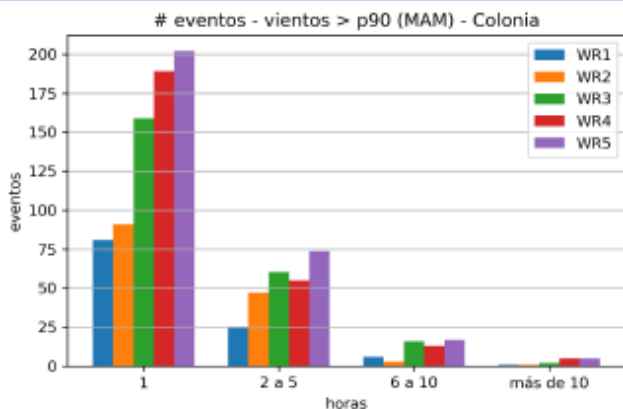
- Se nota una prevalencia de los WR3, WR4 y WR5 en Colonia, Prado, Carrasco.
- En Rivera WR4 es el más asociado a eventos extremos de viento.





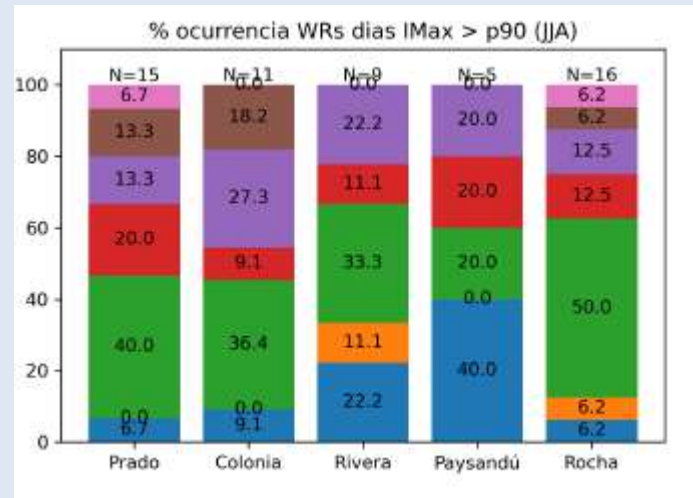
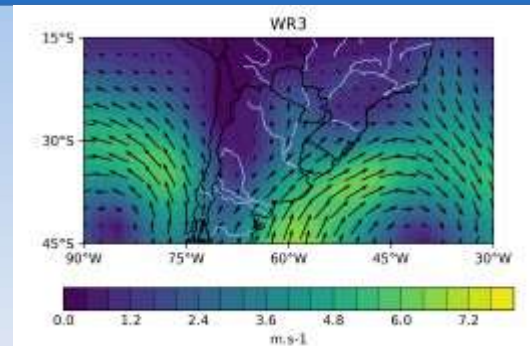
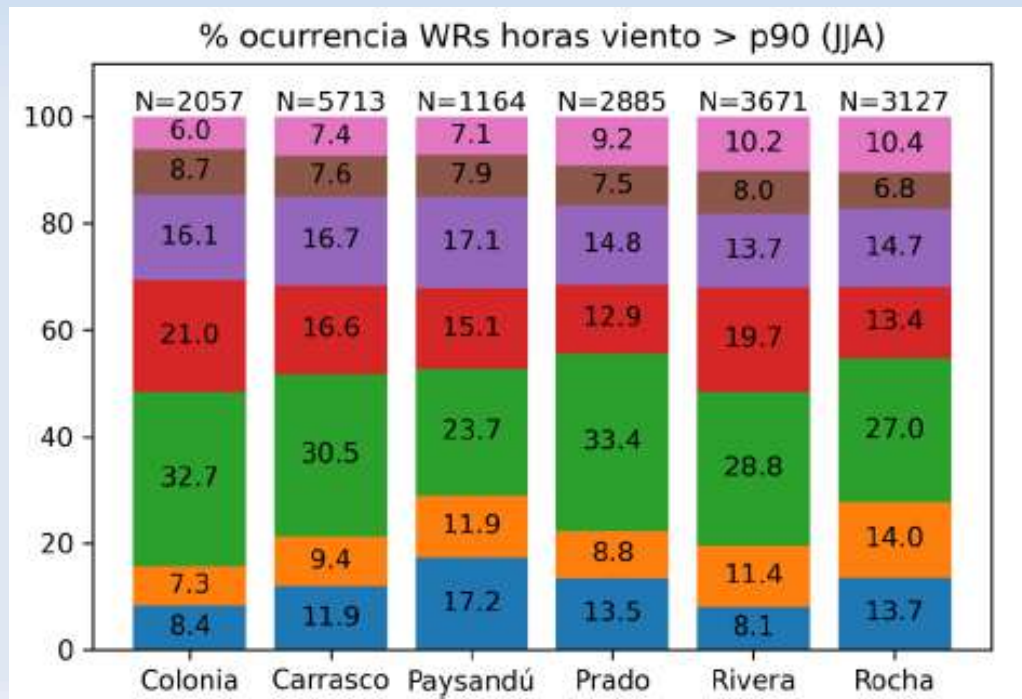
Vientos extremos - Otoño

WR3, WR4 y WR5 dominan los eventos cortos de viento intenso en Colonia



Vientos extremos - Invierno

- El WR3 está asociado a eventos extremos de viento en todas las localidades. En Paysandú el WR1 juega un rol.
- WR1, WR2, WR6 y WR7 no están casi asociados a eventos extremos de viento.



Estac. automaticas muestran prevalencia de WR3 en Umax

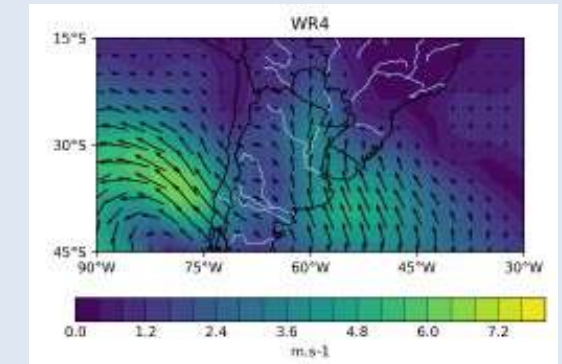
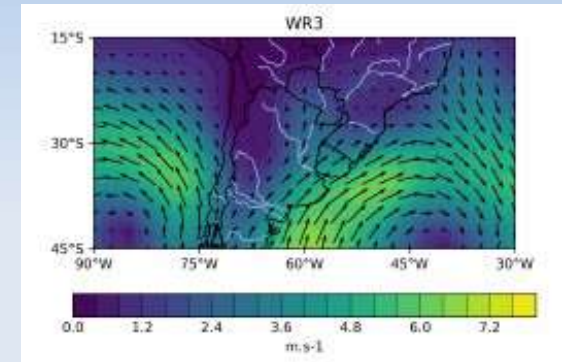
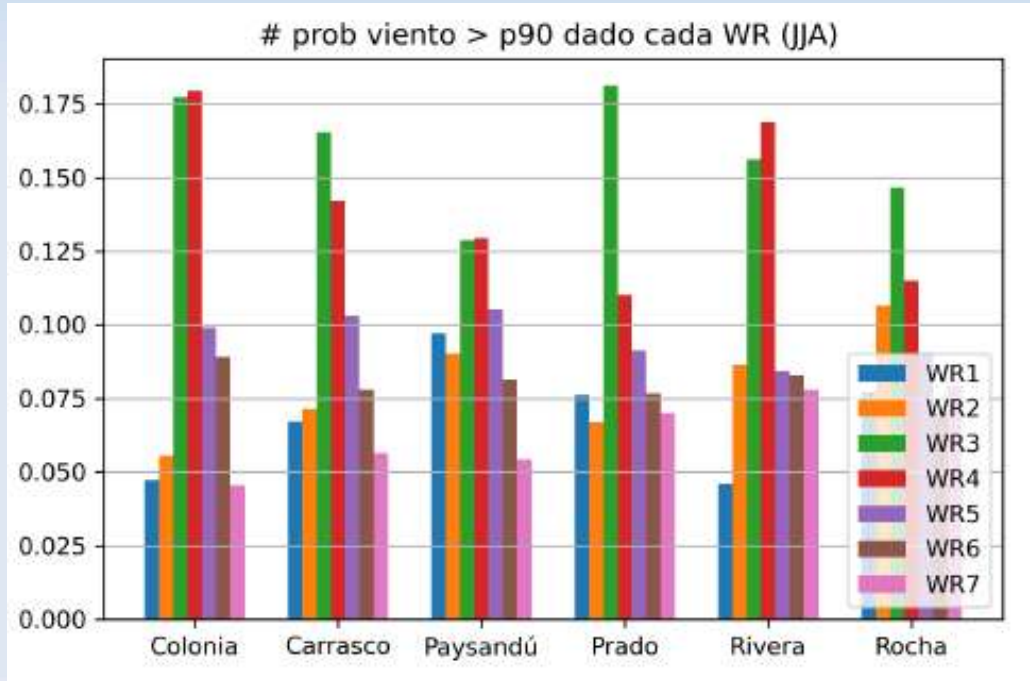


FACULTAD DE
CIENCIAS
UDELAR | fcien.edu.uy

Vientos extremos - Invierno

Probabilidad de que haya un extremo de viento (p90) dado un WR dado.

- Se nota una prevalencia de WR3 y WR4 en todo el país.



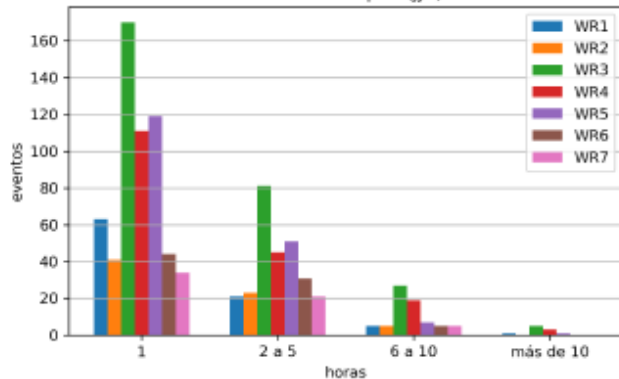


FACULTAD DE
CIENCIAS
UDELAR | fciencias.edu.uy

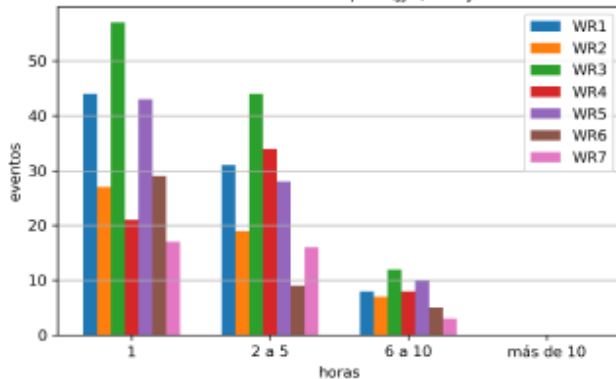
Vientos extremos - Invierno

WR3 dominan los eventos de viento intenso de hasta 5 horas de duración, y en Carrasco y Prado para todo tipo de evento.

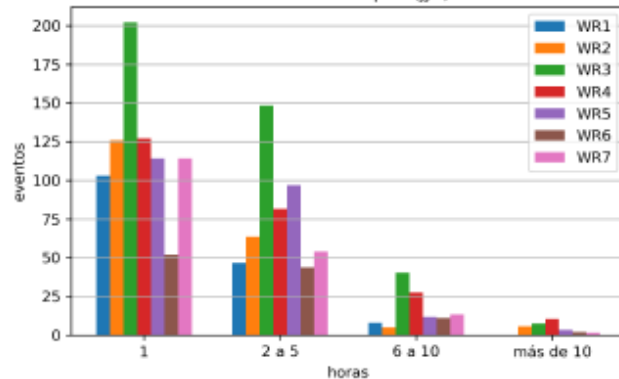
eventos - vientos > p90 (JJA) - Colonia



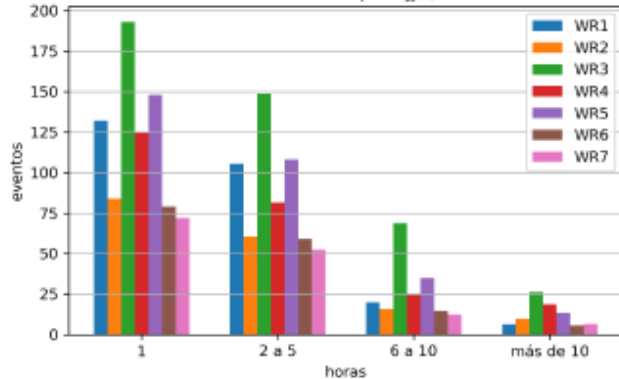
eventos - vientos > p90 (JJA) - Paysandú



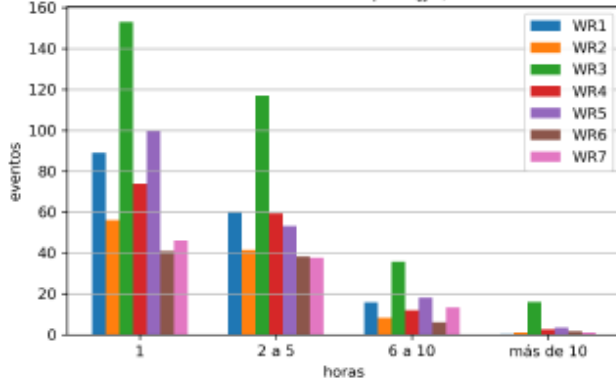
eventos - vientos > p90 (JJA) - Rivera



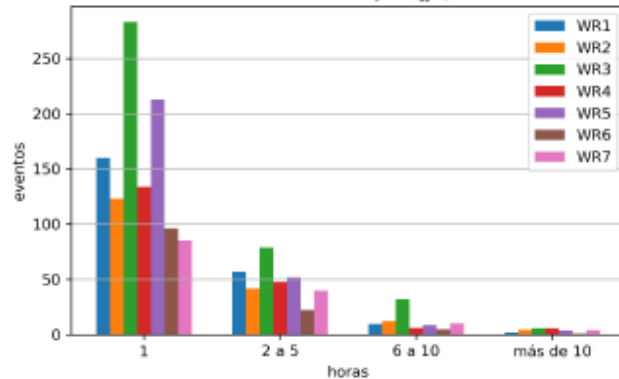
eventos - vientos > p90 (JJA) - Carrasco



eventos - vientos > p90 (JJA) - Prado



eventos - vientos > p90 (JJA) - Rocha

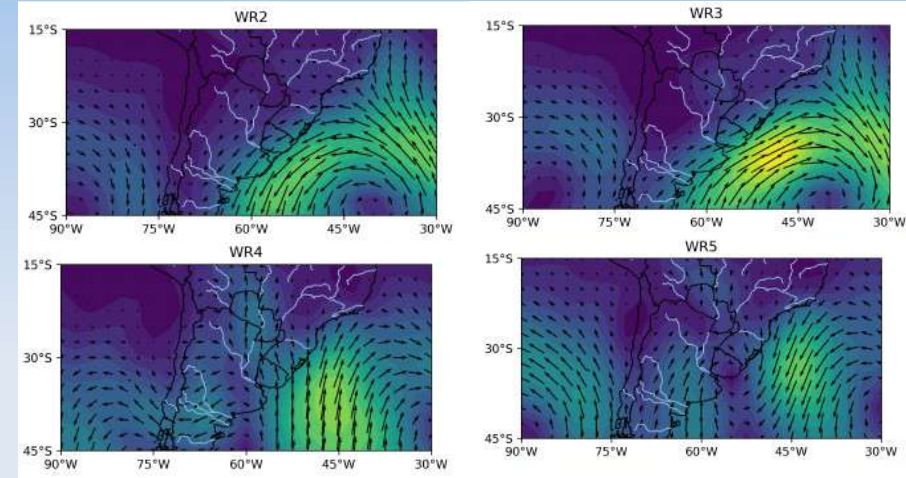
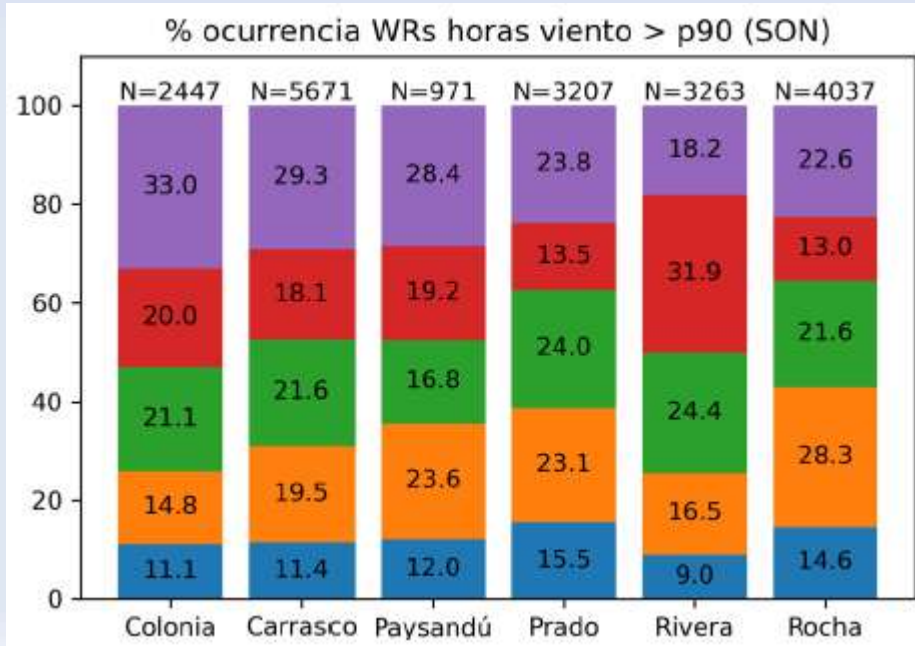




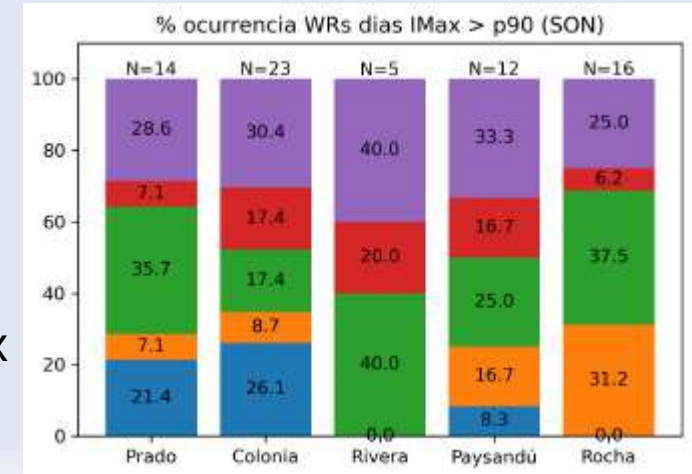
FACULTAD DE
CIENCIAS
UDELAR | fciencias.edu.uy

Vientos extremos - Primavera

- WR3 y WR5 están asociado a eventos extremos de viento en Carrasco, Prado
- WR4 – Rivera
- WR2 – Rocha
- WR5 – Colonia



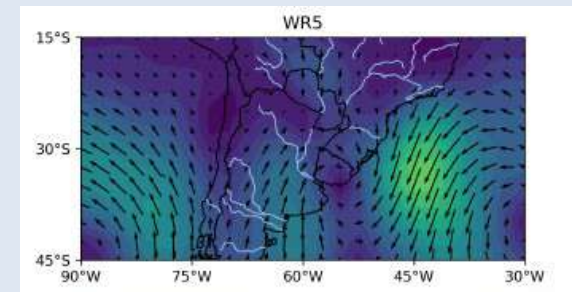
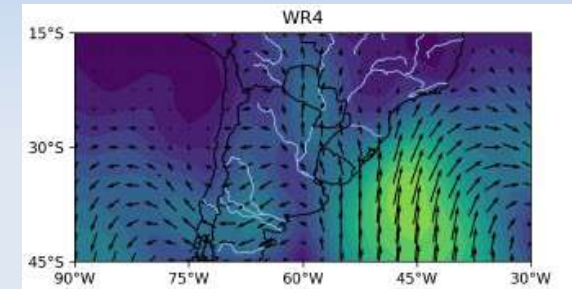
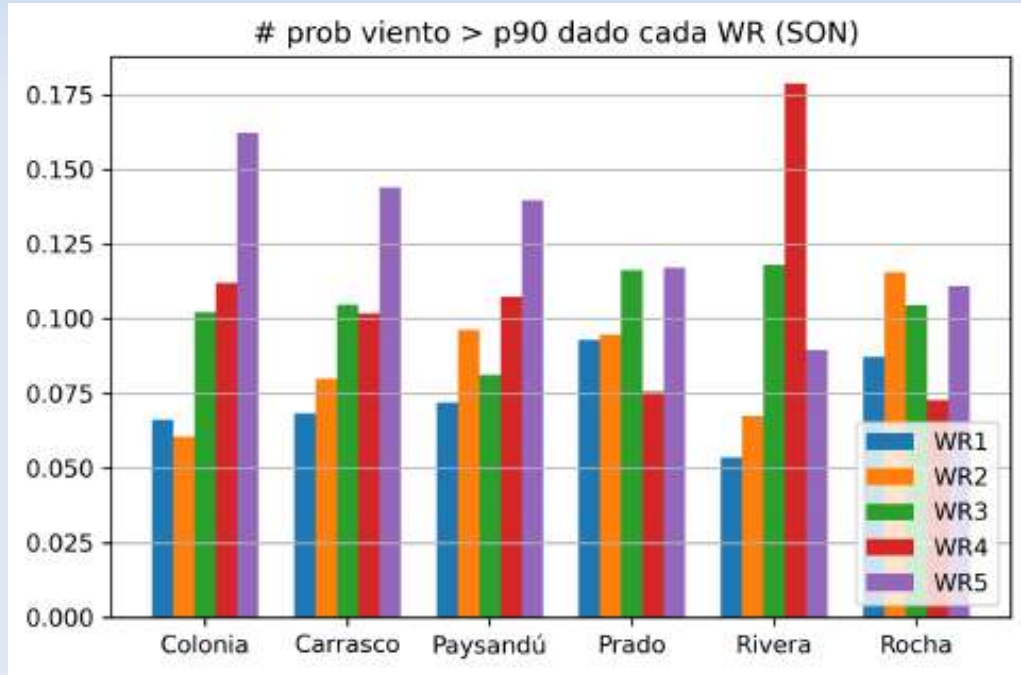
Estac.
automaticas
muestran
prevalencia
de WR3 y
WR5 en Umax



Vientos extremos - Primavera

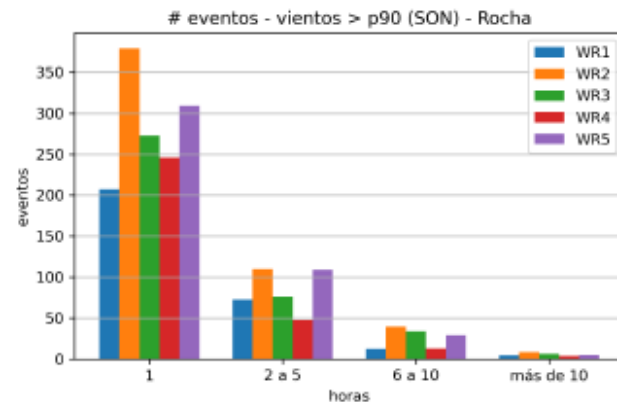
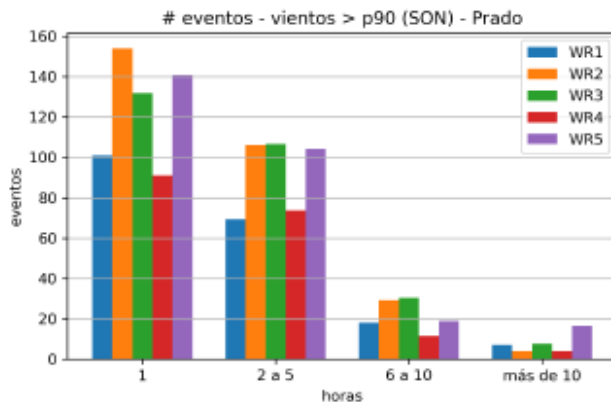
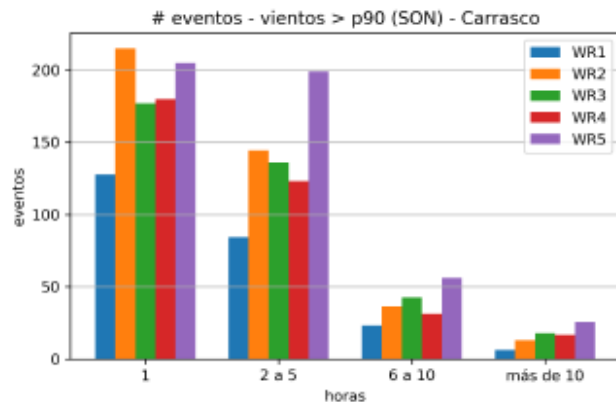
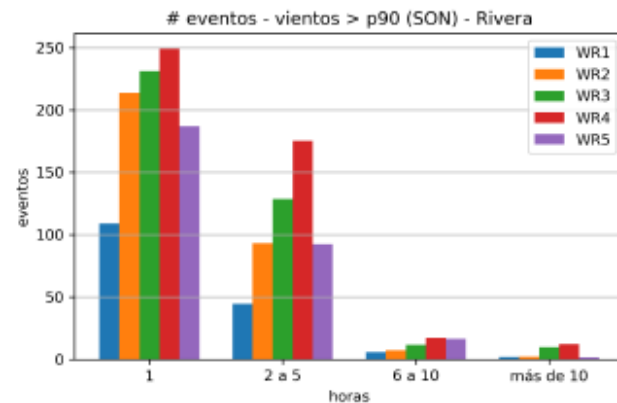
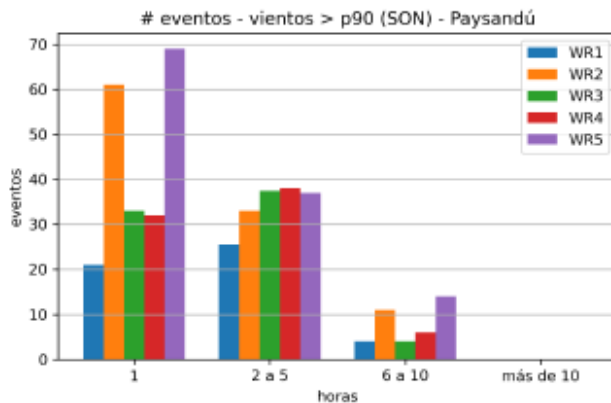
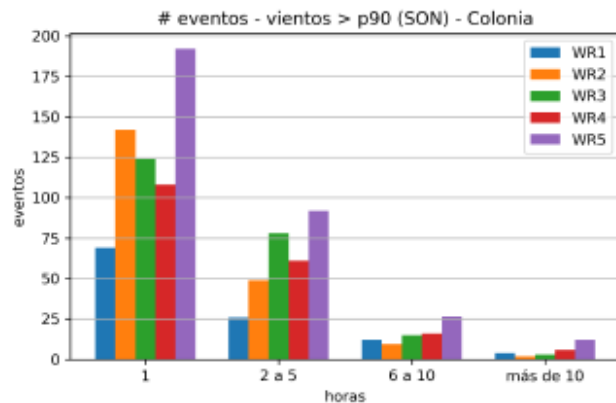
Probabilidad de que haya un extremo de viento (p90) dado un WR dado.

- Prevalencia de WR5 en Colonia, Carrasco, Paysandú.
- Prevalencia de WR4 en Rivera



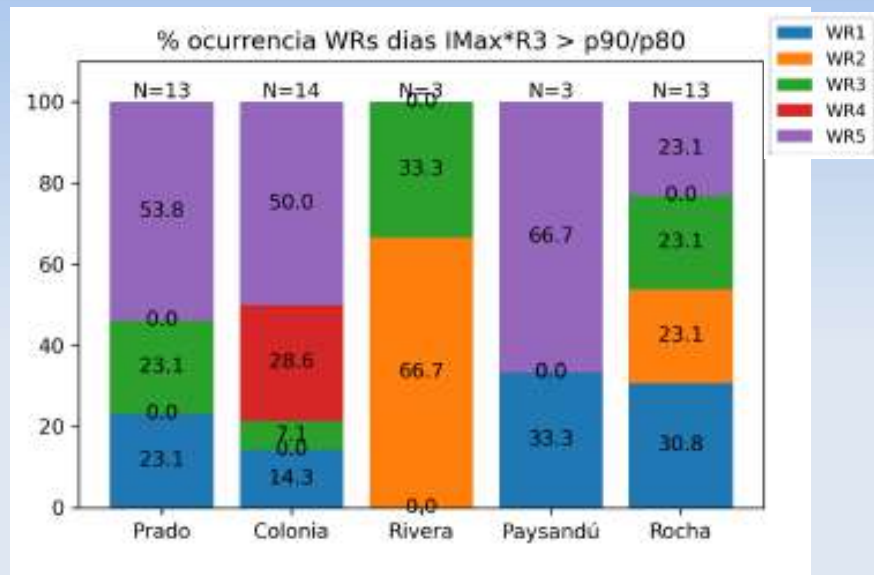
Vientos extremos - Primavera

WR2 y WR5 dominan los eventos cortos de viento intenso, excepto en Rivera.



Extremos compuestos precipitación y vientos

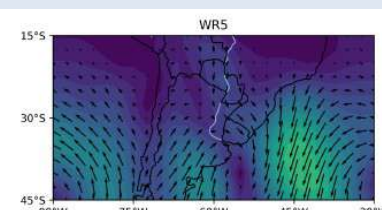
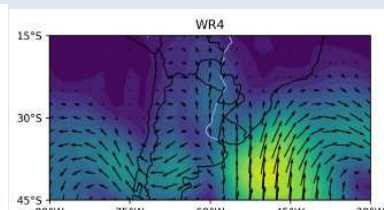
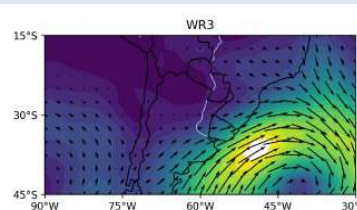
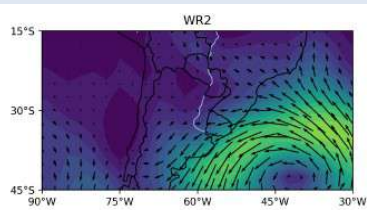
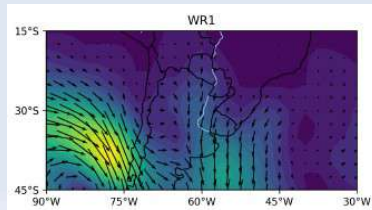
- Buscamos en la serie de estaciones automáticas extremos compuestos de vientos (p90) y lluvias (p80) para todo el año
 - Prado: WR5, WR1, WR3
 - Colonia: WR5, WR4
 - Rocha: WR1, WR2, WR3, WR5



Resumen relación extremos - WR

La siguiente tabla resume la asociación de WRs con extremos de viento

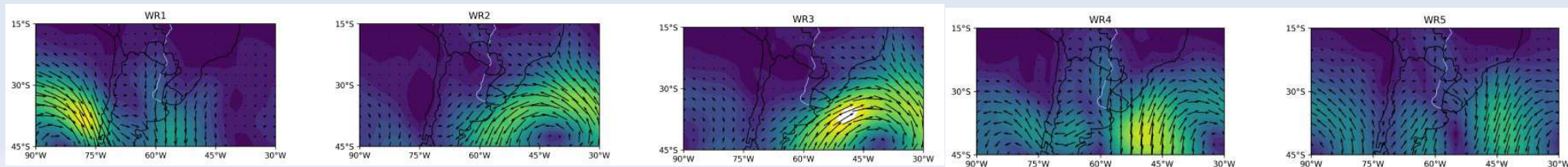
	DEF	MAM	JJA	SON
WR1	X			
WR2				X
WR3		X	X	X
WR4	X	X	X	X
WR5	X	X		X
WR6				
WR7				



Tendencias históricas de los WRs

Tendencias de los regímenes de circulación observadas en el período **1948-2018**
Son del orden del 10-15%

	DEF	MAM	JJA	SON
WR1	-	-	-	-
WR2	POSITIVA	-	POSITIVA	-
WR3	-	POSITIVA	POSITIVA	-
WR4	-	-	NEGATIVA	-
WR5	NEGATIVA	NEGATIVA	NEGATIVA	-
WR6			-	
WR7			-	



Tendencias históricas de los WRs

	DEF	MAM	JJA	SON
WR1	-	-	-	-
WR2	POSITIVA	-	POSITIVA	-
WR3	-	POSITIVA	POSITIVA	-
WR4			NEGATIVA	-
WR5	NEGATIVA	NEGATIVA	NEGATIVA	
WR6			-	
WR7			-	

Ahora puedo cruzar estas tablas para realizar proyecciones a futuro de los extremos en las diferentes localidades.

	DEF	MAM	JJA	SON
WR1	X			
WR2				X
WR3		X	X	X
WR4	X	X	X	X
WR5	X	X		X
WR6				
WR7				

Tendencias históricas de los WRs

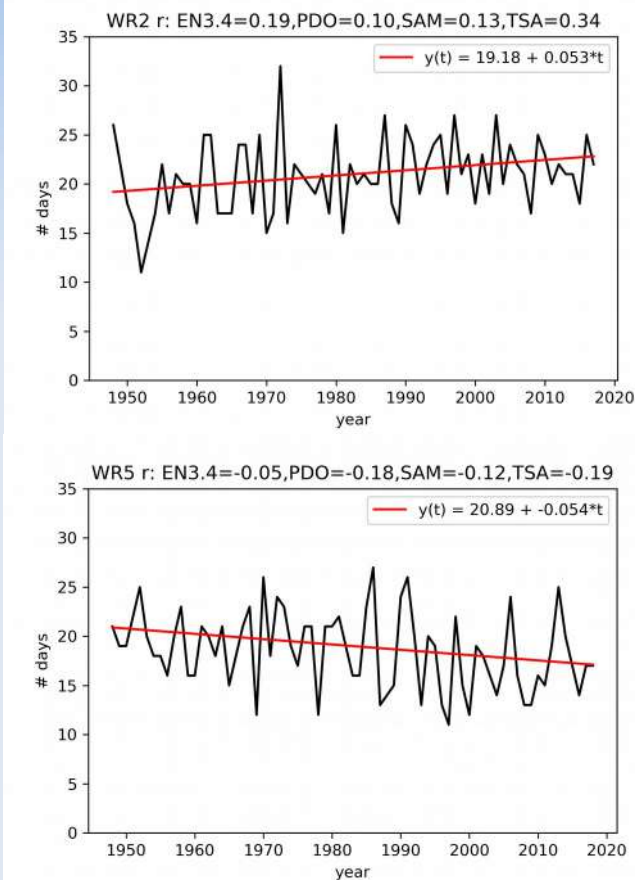
	DEF	MAM	JJA	SON
WR1	-	-	-	-
WR2	POSITIVA	-	POSITIVA	-
WR3	-	POSITIVA	POSITIVA	-
WR4			NEGATIVA	-
WR5	NEGATIVA	NEGATIVA	NEGATIVA	
WR6			-	
WR7			-	

Ahora puede cruzar estas tablas para realizar proyecciones a futuro de los extremos en las diferentes localidades.

	DEF	MAM	JJA	SON
WR1	X			
WR2				X
WR3		X	X	X
WR4	X	X	X	X
WR5	X	X		X
WR6				
WR7				

Tendencias históricas de los WRs

Las tendencias pueden ser estadísticamente significativas pero no estar asociadas a la acción humana.



Tendencias históricas de los WRs

Las tendencias pueden ser estadísticamente significativas pero no estar asociadas a la acción humana.

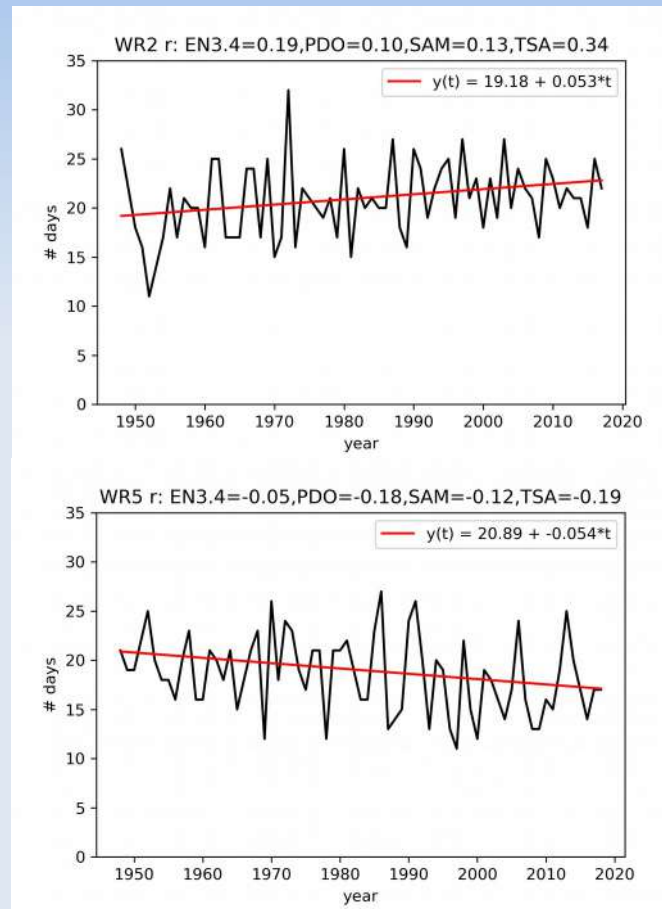
Problema del Cambio Climático

(1) Detectar cambios durante un período relativamente largo de tiempo (>30 años) en alguna variable.

(2) Atribuir dicho cambio a la acción humana.

→ Es necesario caracterizar la variabilidad climática natural

- Series de observaciones largas y de buena calidad, al menos de paso diario.
- Teoría, modelos numéricos del clima.
- Datos paleoclimáticos.



Tendencias históricas de los WRs

Las tendencias pueden ser estadísticamente significativas pero no estar asociadas a la acción humana.

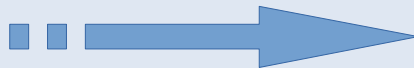
Problema del Cambio Climático

(1) Detectar cambios durante un período relativamente largo de tiempo (>30 años) en alguna variable.

(2) Atribuir dicho cambio a la acción humana.

→ Es necesario caracterizar la variabilidad climática natural

- Series de observaciones largas y de buena calidad, al menos de paso diario.
- Teoría, modelos numéricos del clima.
- Datos paleoclimáticos.



Tendencias observadas:

si los modelos las reproducen dan la pauta de que fueron causadas por el hombre

Proyecciones: existencia de tendencia no compatible con comportamiento histórico de los modelos

Estructura de las charlas

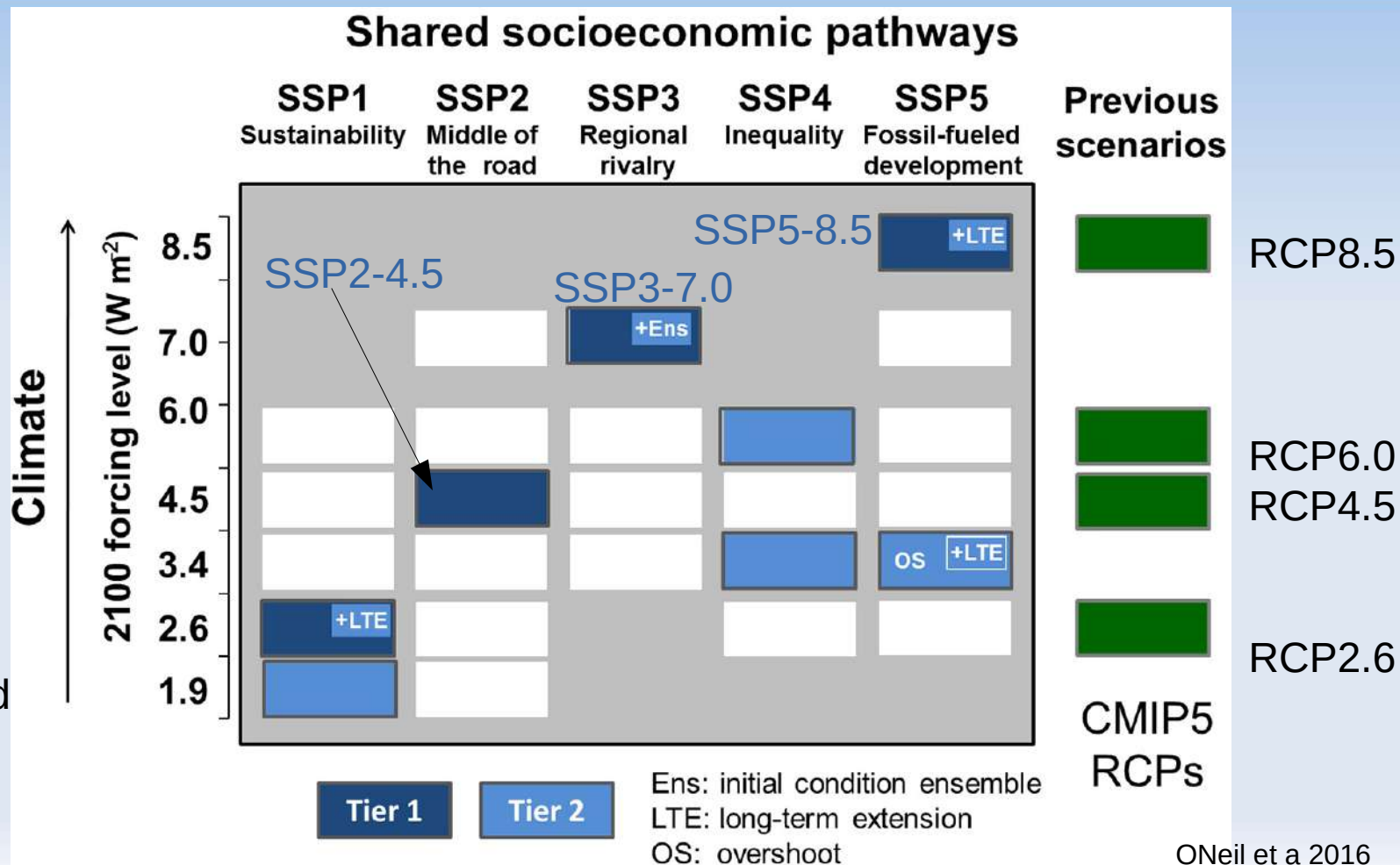
- **Introducción**
 - Características de los vientos
 - Fenómenos meteorológicos asociados a vientos intensos en Uruguay
- **Datos utilizados**
 - INUMET, reanálisis atmosféricos
- **Variabilidad y tendencia de los vientos**
 - Escala horaria, diaria, estacional, rachas, usando datos de estaciones meteorológicas y de reanálisis
- **Eventos extremos de viento y su asociación con regímenes de circulación**
- **Proyecciones a futuro**

Escenarios – Shared Socioeconomic Pathways (SSP)

- Describen evoluciones alternativas de la sociedad a futuro en ausencia de nuevas políticas sobre CC mas allá de actuales
 - SSP1 y SSP5 son optimistas con respecto al desarrollo humano con inversiones importantes en educación y salud, crecimiento económico rápido e instituciones fuertes
 - SSP1 asume transición hacia desarrollo sostenible
 - SSP5 asume economía fuertemente basada en combustibles fósiles
 - SSP3 y SSP4 son mas pesimistas: poca inversión en educación y salud, crecimiento rápido de la población y desigualdad. Sociedades muy vulnerables al cambio climático.
 - SSP3 asume países priorizan seguridad regional
 - SSP4 asume que dominan desigualdades en los países
 - SSP2 es el caso intermedio

Escenarios

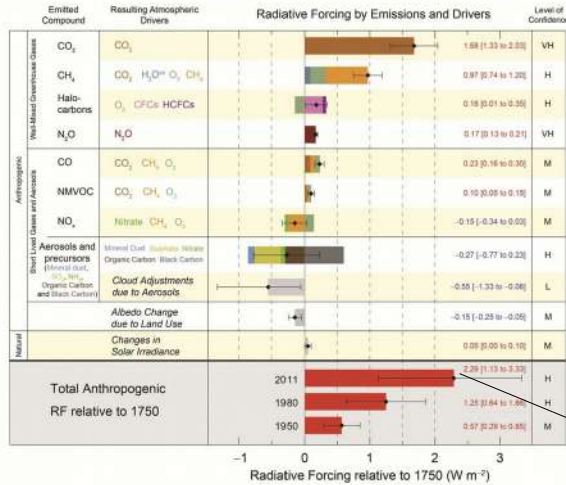
La combinación de un SSP con un forzante radiativo dado, permite determinar las medidas de mitigación requeridas para llegar a ese nivel de forzante, así como las medidas de adaptación e impactos en la evolución de sociedad elegida.



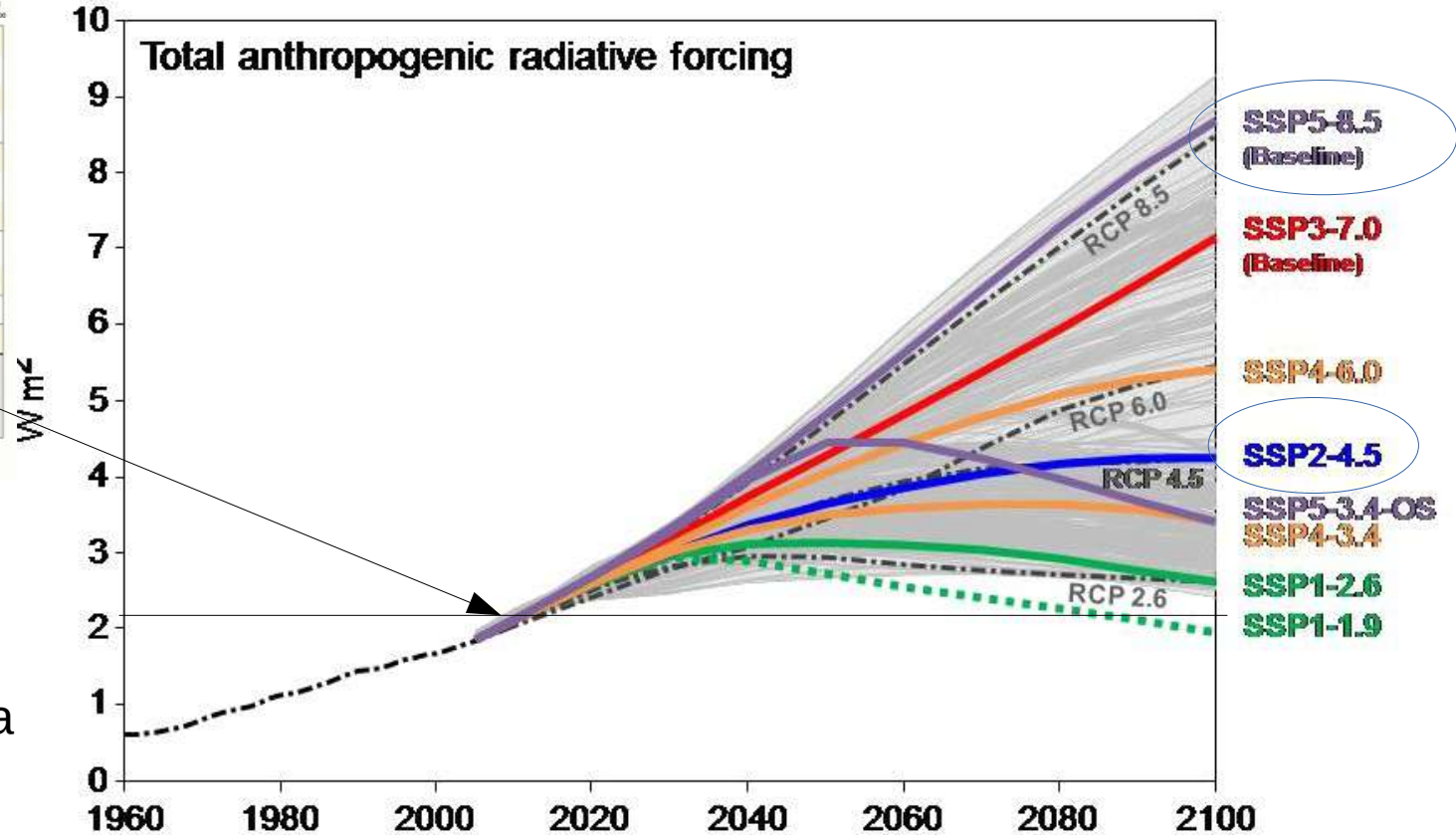


FACULTAD DE
CIENCIAS
UDELAR | fciencias.edu.uy

Escenarios



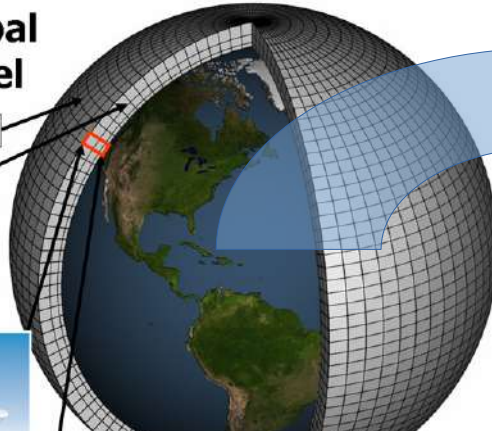
Al 2011 la actividad humana había generado un imbalance radiativo en el tope de la atmósfera de $2.3 W/m^2$.



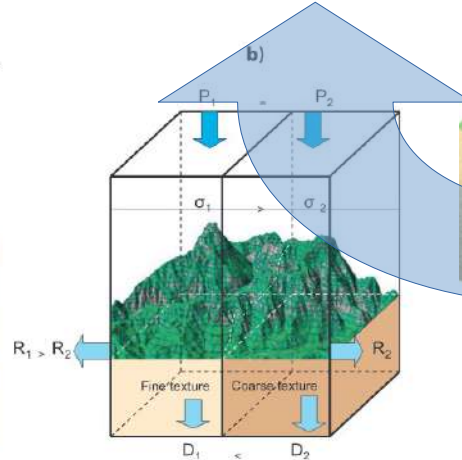
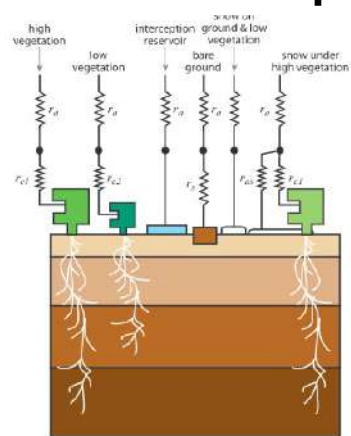
Modelos climáticos

Schematic for Global Atmospheric Model

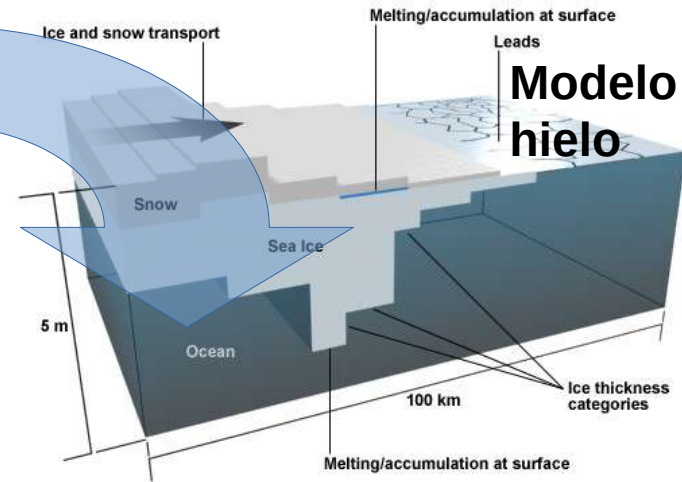
Horizontal Grid (Latitude-Longitude)
Vertical Grid (Height or Pressure)



Modelo de superficie

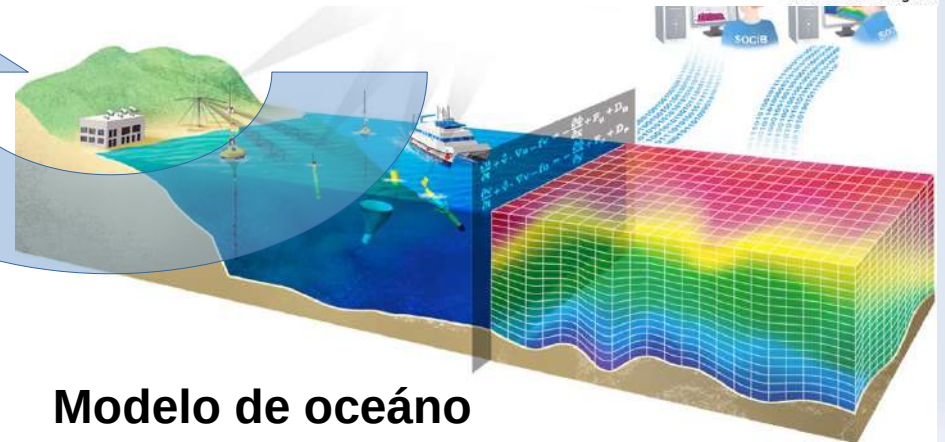


Processes Simulated by the Community Ice CodE



Modelo de hielo

Modelo de océano



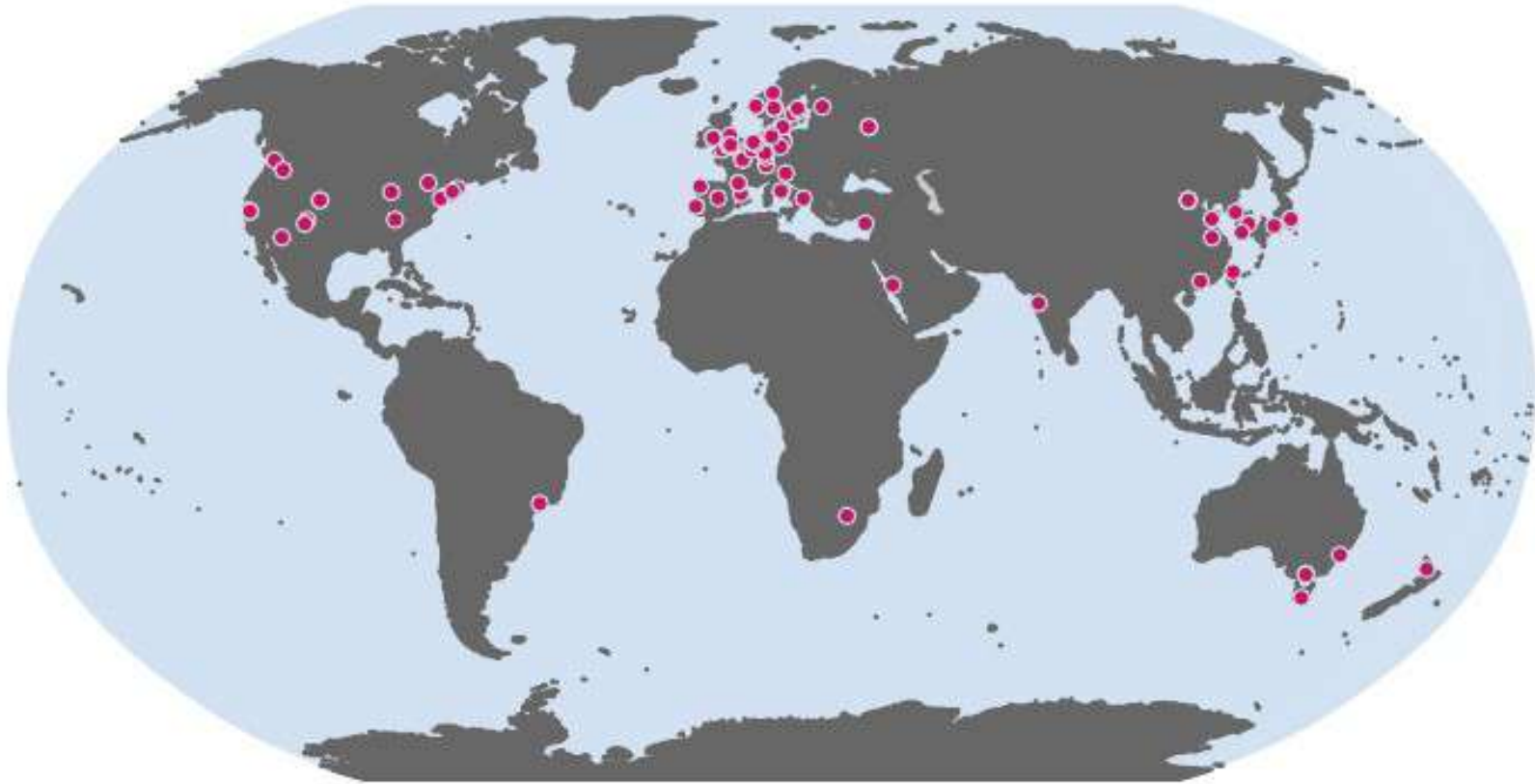
CMIP

- CMIP - Coupled Model Intercomparison Project (1 a 6)
- Desarrollado por el Programa Mundial para la Investigación en Clima (WCRP)
- Los reportes del IPCC se basan principalmente en los CMIP
- El IPCC AR5 se basó en CMIP3/CMIP5, el IPCC AR6 se basará en CMIP5/CMIP6
- La complejidad de los modelos aumenta con cada CMIP y cada vez hay mas experimentos
- La resolución se duplica en cada CMIP.



FACULTAD DE
CIENCIAS
UDELAR | fciencias.edu.uy

Ubicación modelos CMIP6



Modelos CMIP6 utilizados

- Se usaran modelos de CMIP6 previamente validados en su representación del clima de Uruguay: GFDL-ESM4, CAMS-CSM1, EC-Earth3, EC-Earth-Veg, CESM2, CESM2-WACCM, CNRM-CM6-1, MRI-ESM2-0, UKESM1-0-LL
- Máxima resolución horizontal: 100 km (EC-Earth3)
- Sensibilidad climática:
 - CMIP5: 2.1 a 4.7 °C
 - CMIP6: 2.7 a 5.7 °C

Modelos CMIP6 utilizados

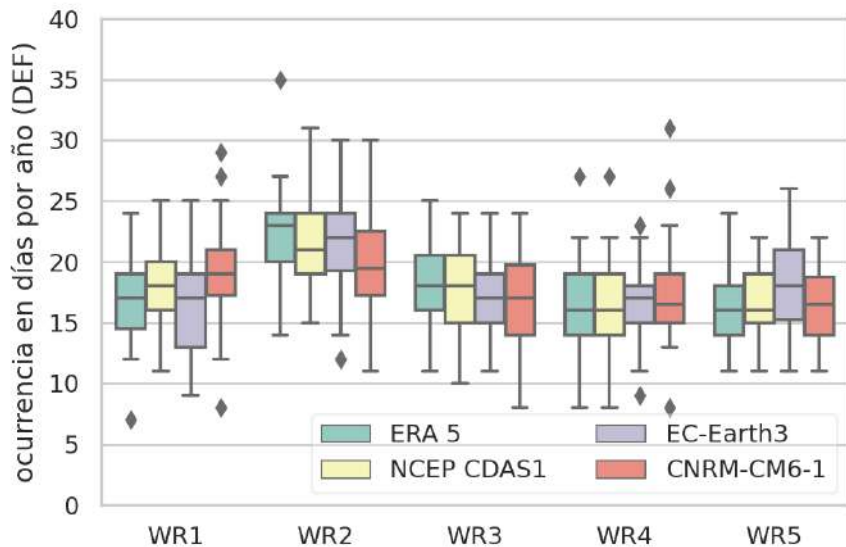
- Se usaran modelos de CMIP6 previamente validados en su representación del clima de Uruguay: GFDL-ESM4, CAMS-CSM1, EC-Earth3, EC-Earth-Veg, CESM2, CESM2-WACCM, CNRM-CM6-1, MRI-ESM2-0, UKESM1-0-LL
- Máxima resolución horizontal: 100 km (EC-Earth3)
- Sensibilidad climática:
 - CMIP5: 2.1 a 4.7 °C
 - CMIP6: 2.7 a 5.7 °C
- En esta instancia mostramos los resultados de EC-Earth3 y CNRM-CM6-1.
 - Tres corridas para cada modelo: pre-industrial (200 años, 1850), histórica (1850-2014), SSP585 (2015-2100)

Validación modelos

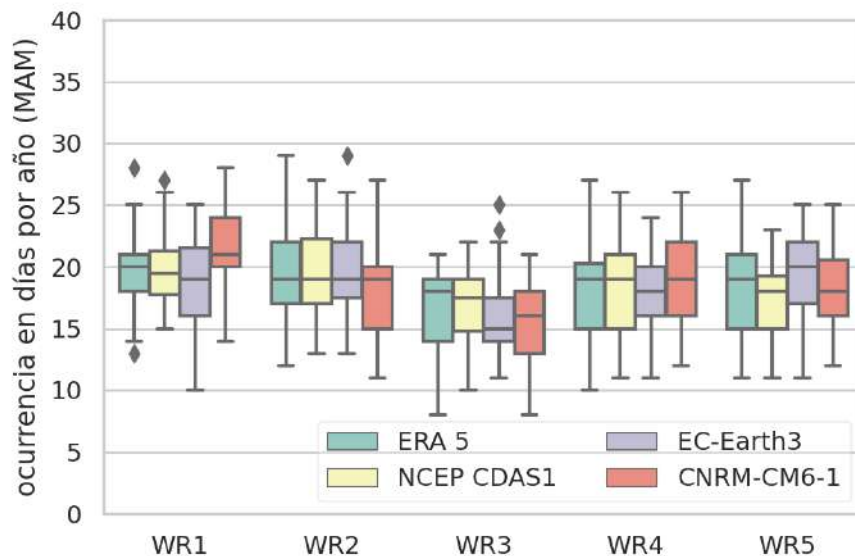
¿Representan adecuadamente la frecuencia de ocurrencia de los WRs en cada estación del año? → Usamos corrida histórica

En general si, mantienen los % relativos entre WRs

DEF

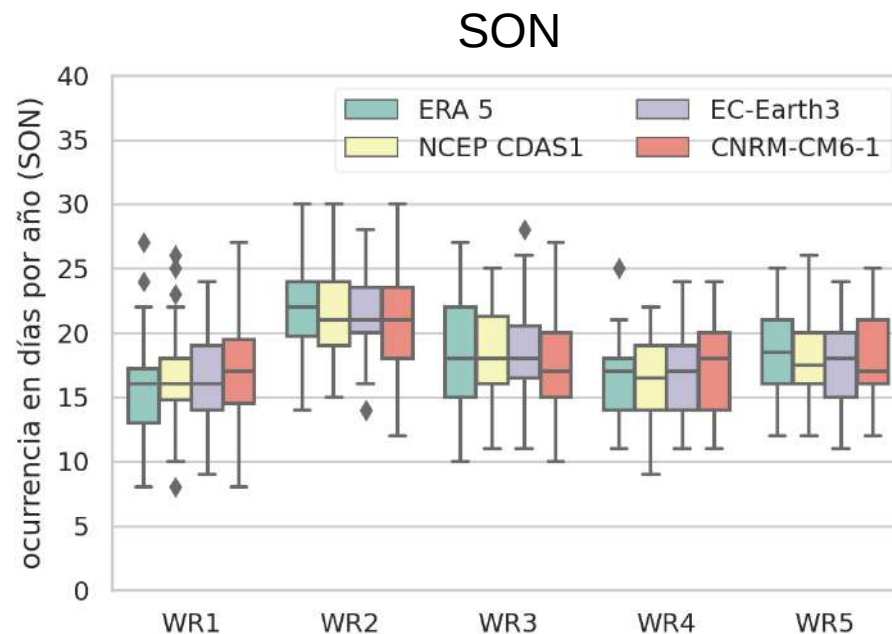
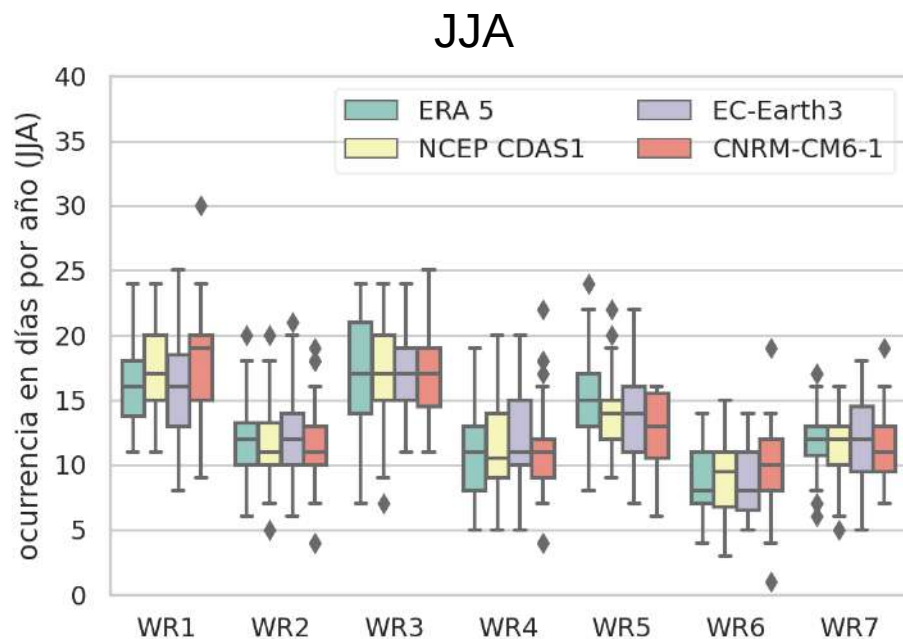


MAM



Validación modelos

Las diferencias entre reanálisis son similares a las existen con los modelos.



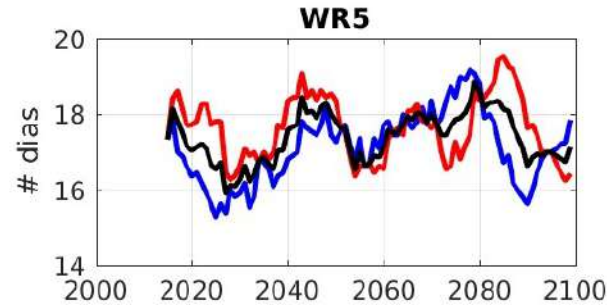
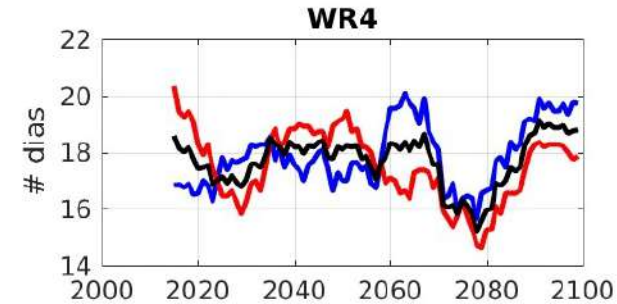
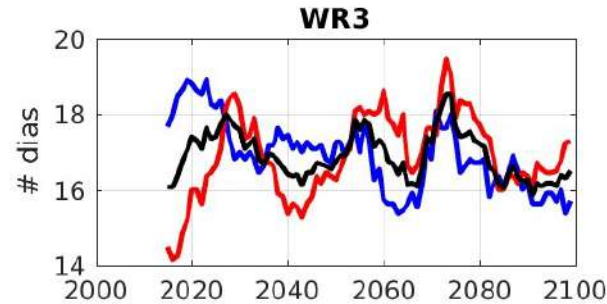
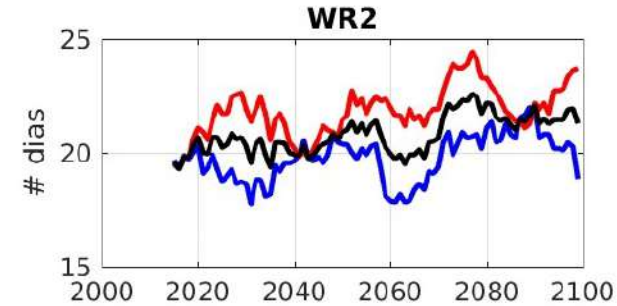
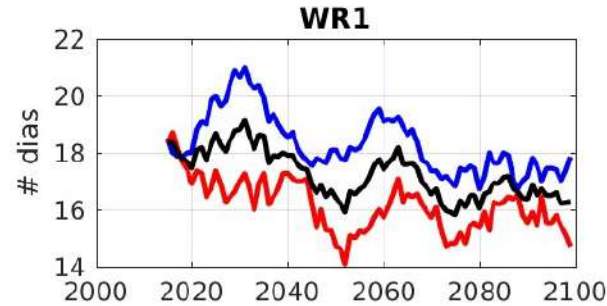
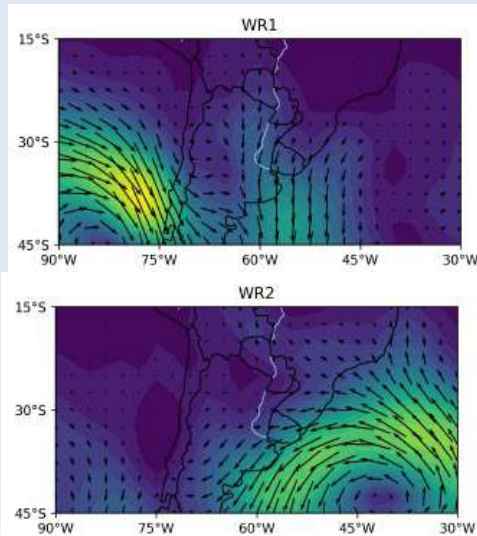


FACULTAD DE
CIENCIAS
UDELAR | fciencias.edu.uy

Frecuencia de ocurrencia WRs SSP585 Verano

Modelos muestran tendencias consistentes en WR1 y WR2 que tienen comportamientos opuestos.

Los otros WR no muestran tendencias.

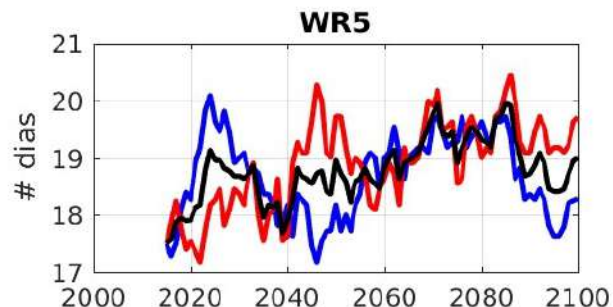
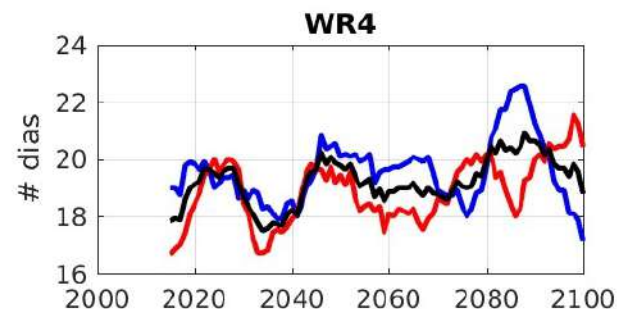
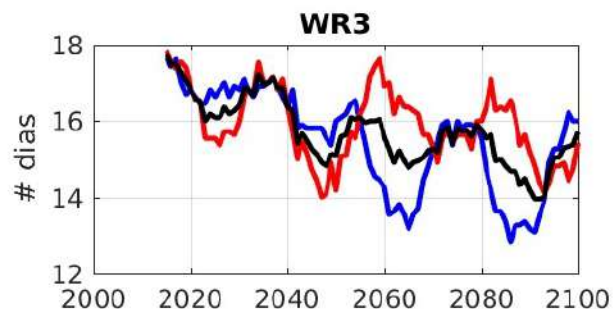
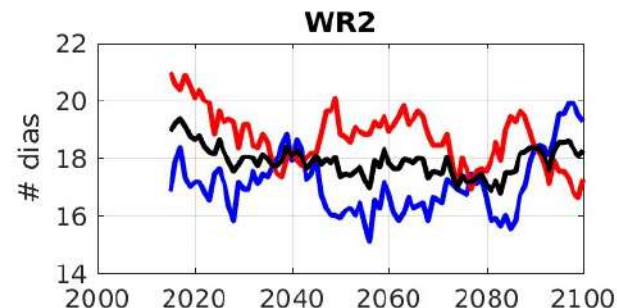
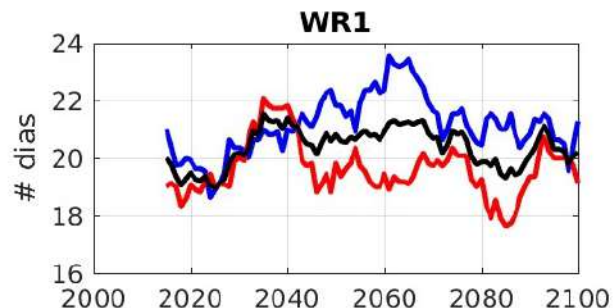
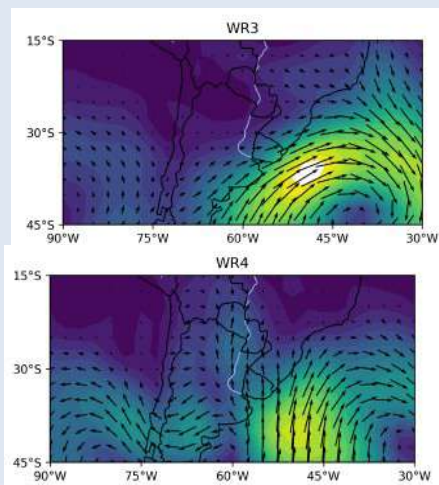


CNRM6
EC-EARTH3
MEDIA

Frecuencia de ocurrencia WRs SSP585 Otoño

Los modelos muestran tendencias consistentes de WR3 y WR4, que tienen comportamientos opuestos.

Los otros WR no muestran tendencias.



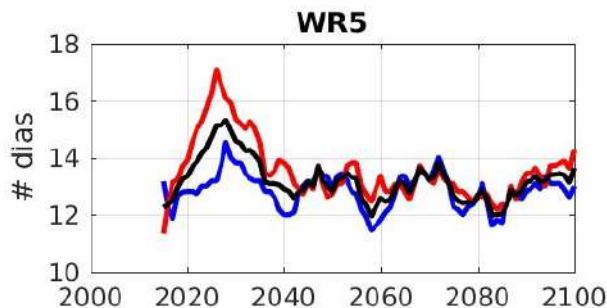
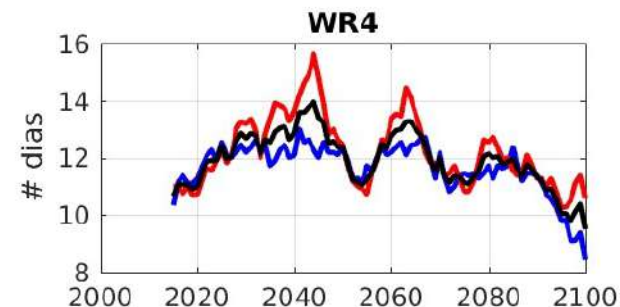
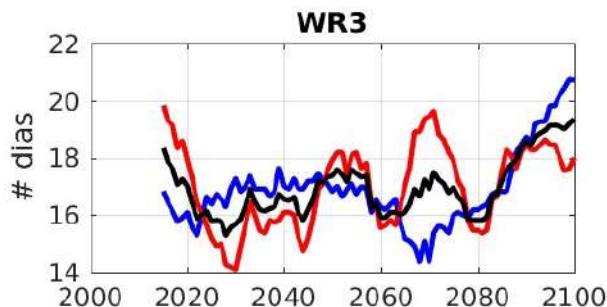
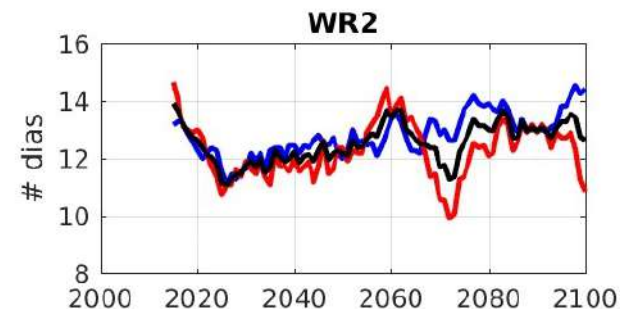
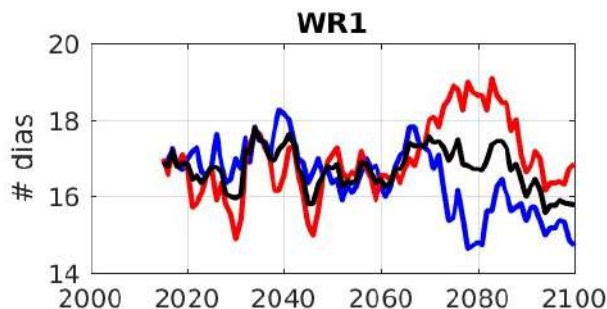
CNRM6
EC-EARTH3
MEDIA

Frecuencia de ocurrencia WRs SSP585 Invierno

Los WRs no muestran tendencias consistentes.

Algunos WRs muestran evoluciones similares en los dos modelos.

WR4 muestra una disminución importante a fin de sXXI



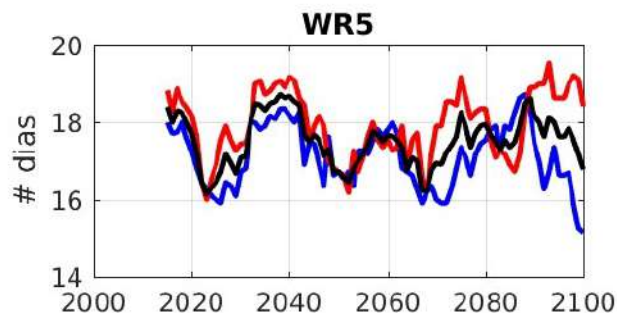
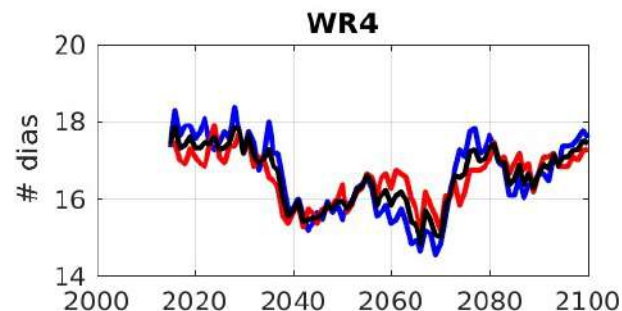
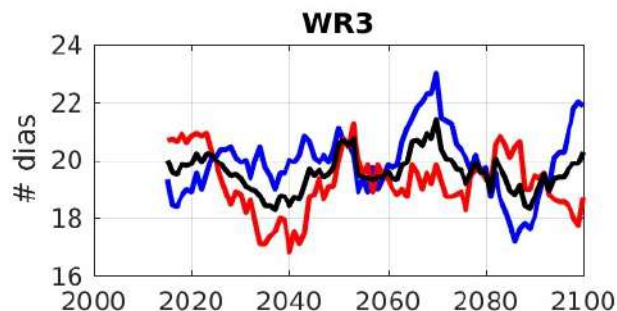
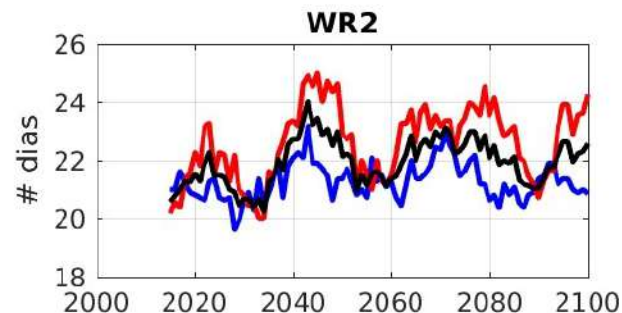
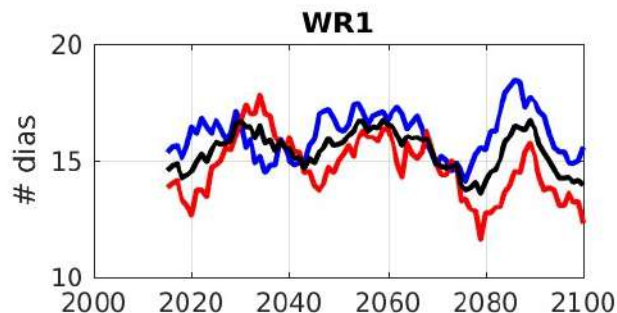
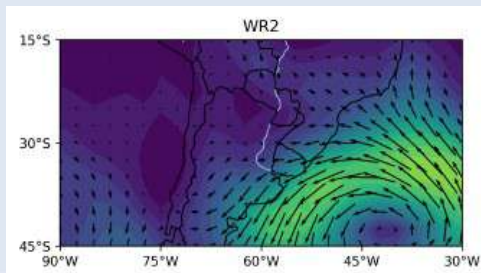
CNRM6
EC-EARTH3
MEDIA

Frecuencia de ocurrencia WRs SSP585 Primavera

El WR2 muestra una tendencia positiva en EC-Earth3.

Los otros WR no muestran tendencias.

La evolución de WR4 es muy similar entre los modelos.



CNRM6
EC-EARTH3
MEDIA

Contexto de proyecciones

- Las tendencias en el cambio de la frecuencia de ocurrencia de WRs que parecen existir en SSP585 son del orden del 10%
- Atribución:

Hay que ponerlas en perspectiva con la variabilidad pasada de los modelos para poder determinar que tan inusuales son

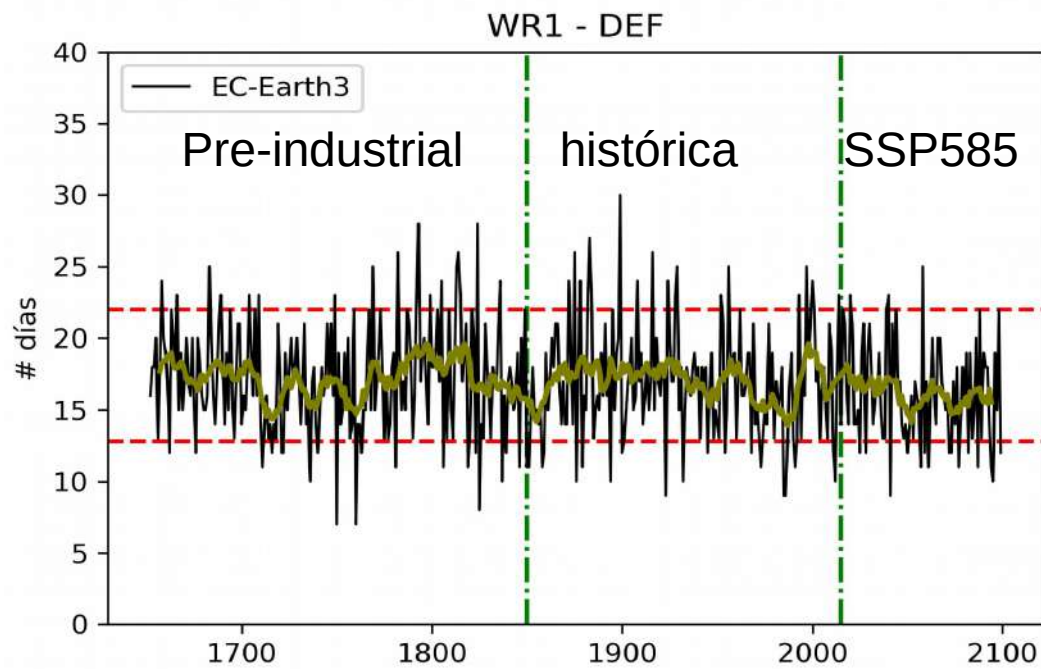
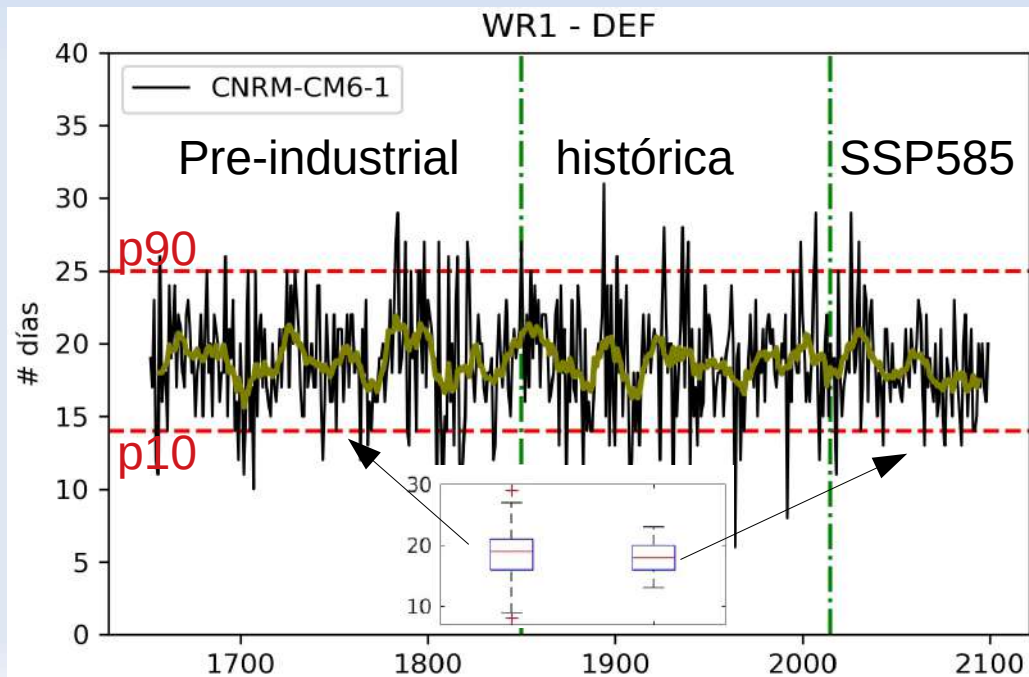
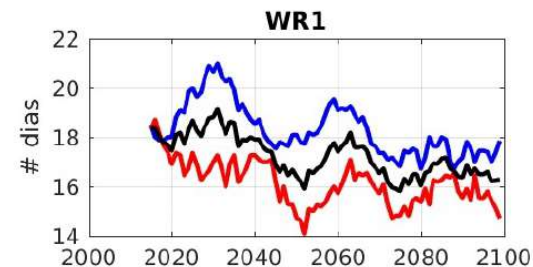
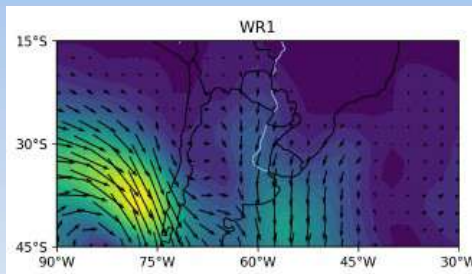
- Corrida pre-industrial: 200 años forzada con GEI de 1850. → → representa la variabilidad natural
- Corrida histórica (1850-2014): incluye los forzantes antropogénicos y naturales observados.



FACULTAD DE
CIENCIAS
UDELAR | fciencias.edu.uy

Verano

La tendencia observada durante el sXXI parece además incluir una disminución en la varianza del WR1

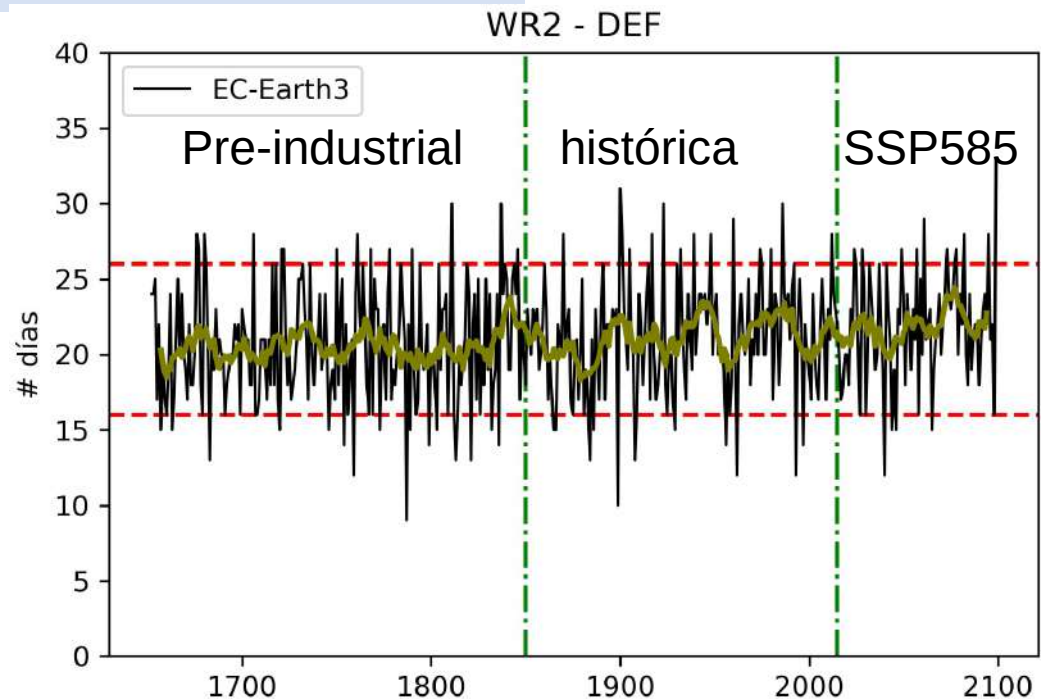
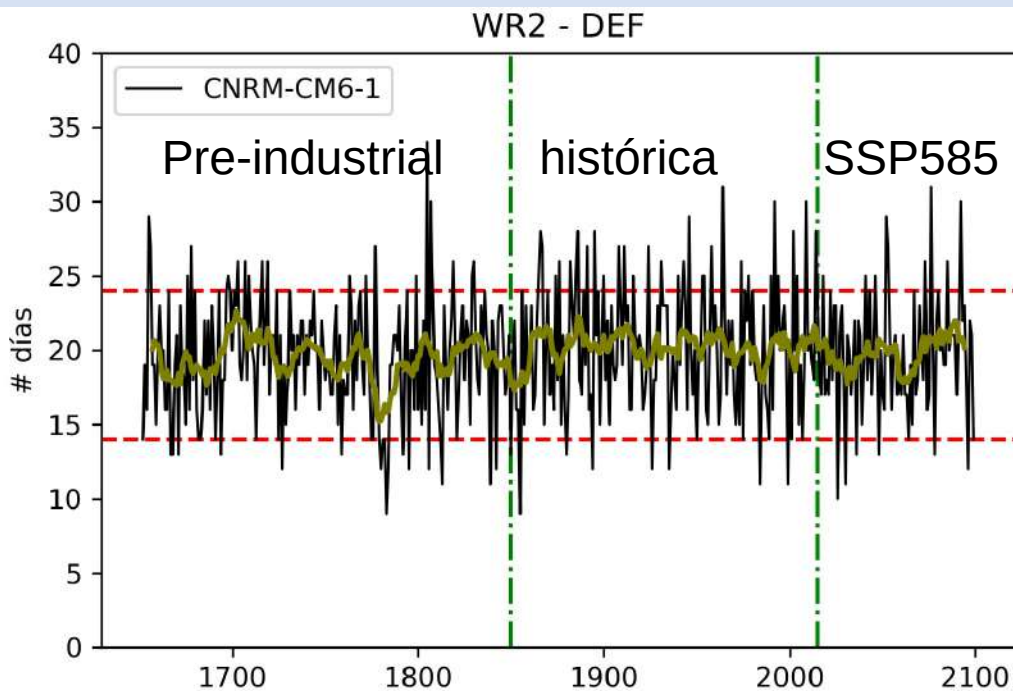
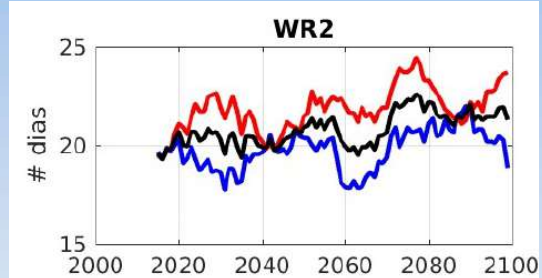
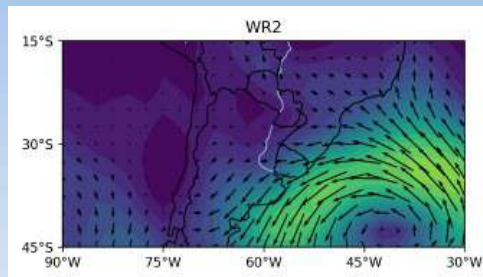




FACULTAD DE
CIENCIAS
UDELAR | fciencias.edu.uy

Verano

La tendencia observada en WR2 durante el sXXI parece existir aunque hay períodos pasados con comportamiento similar

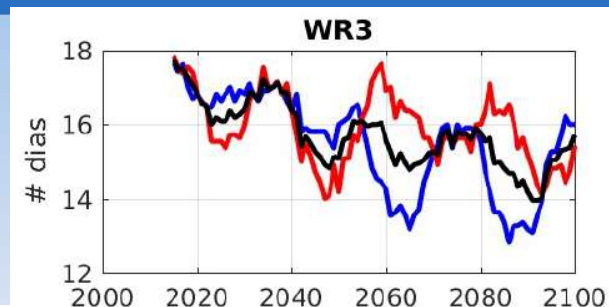
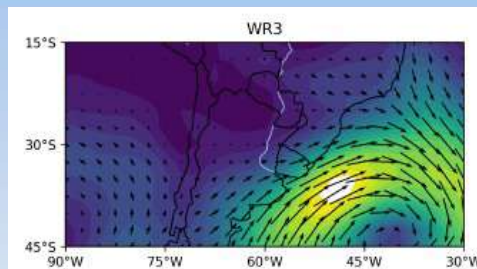




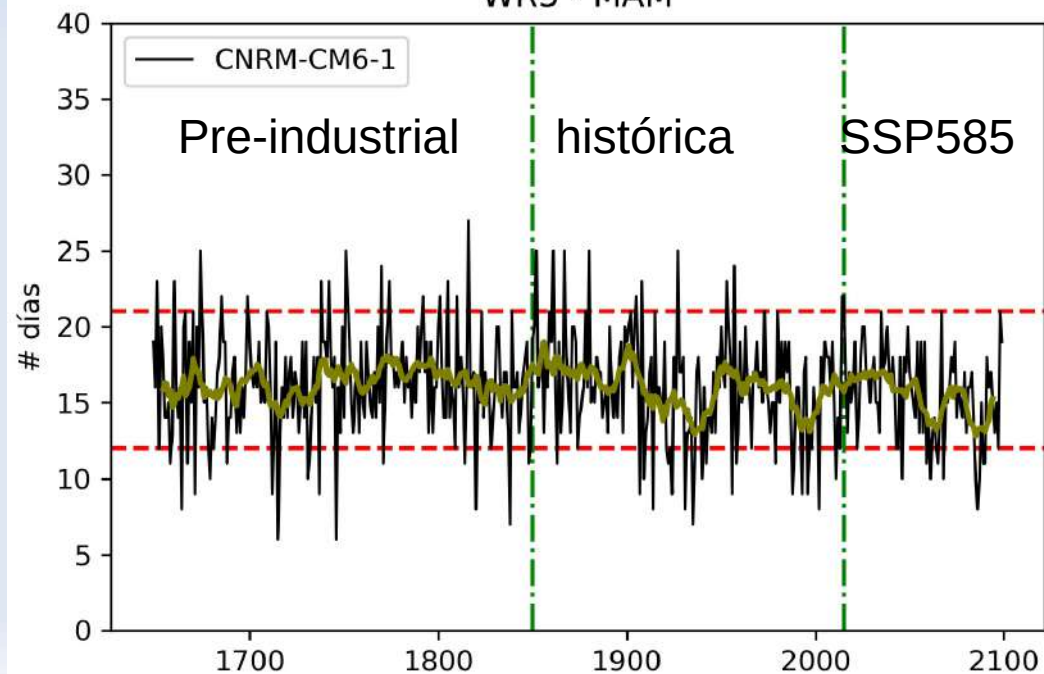
FACULTAD DE
CIENCIAS
UDELAR | fciencias.edu.uy

Otoño

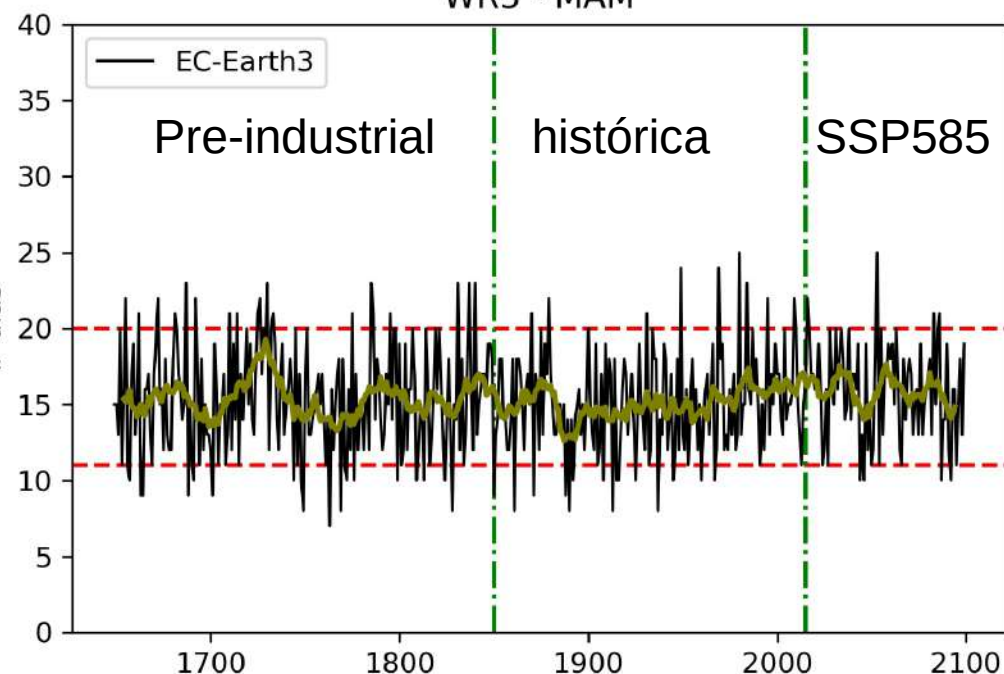
La tendencia observada en WR3 durante el sXXI se ve claramente en CNRM6



WR3 - MAM



WR3 - MAM

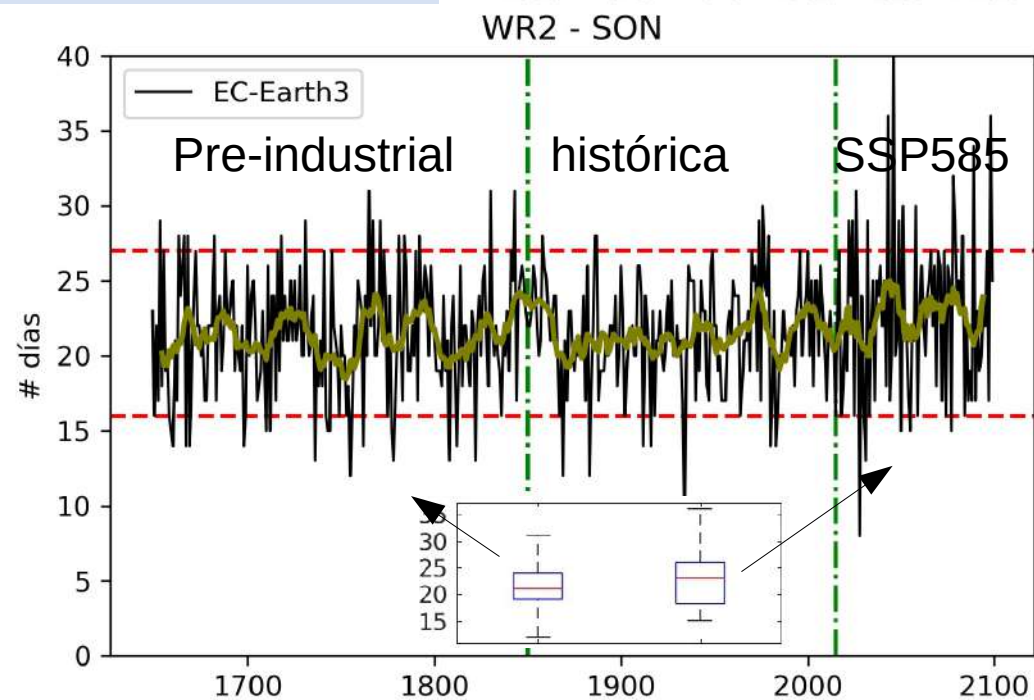
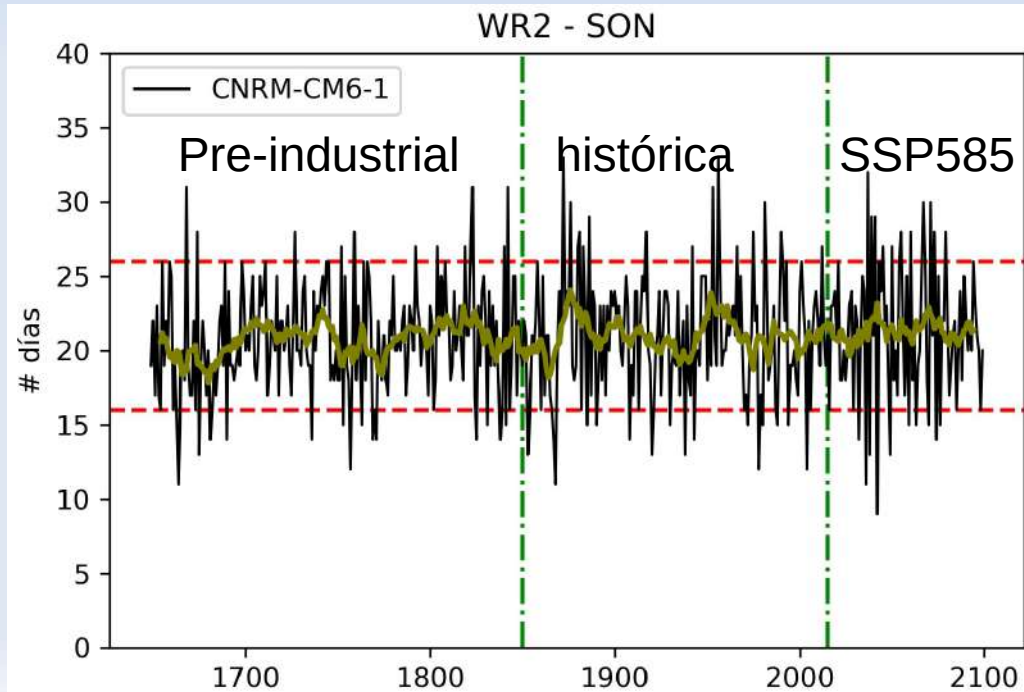
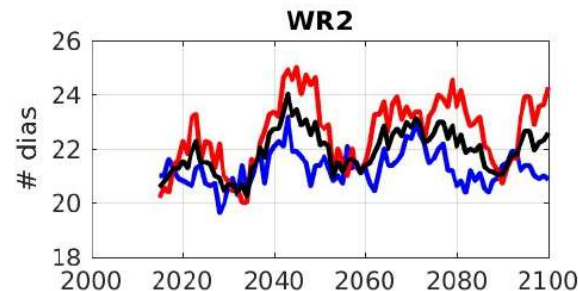
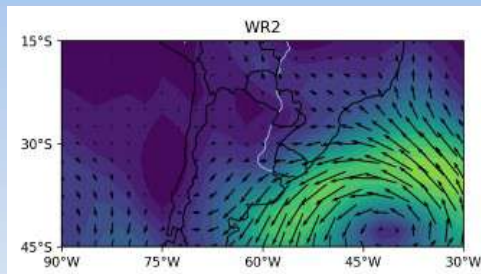




FACULTAD DE
CIENCIAS
UDELAR | fciencias.edu.uy

Primavera

La tendencia observada en WR2 durante el sXXI parece además incluir un aumento en la varianza.



Resumen

- Se realizó una descripción de los vientos en superficie a nivel nacional enfocando en algunas localidades específicas. Se estudió la variabilidad horaria, diaria, estacional y tendencias a partir de datos observados y de reanálisis.
- Se asoció extremos de viento en estaciones meteorológicas a regímenes de circulación regionales (WRs). Se encontró una tendencia en algunos WRs, que indica un cambio pasado en la frecuencia de ocurrencia de eventos extremos de viento.
- Proyecciones CMIP6— resultados primarios indican cambios en frecuencia de ocurrencia media y en variabilidad interanual en algunos WRs para SSP585. A confirmar incluyendo mayor número de modelos → permitirá inferir tendencias en extremos de viento.

¡Muchas gracias!

M. Barreiro, F. Arizmendi, R. Trinchin, N. Diaz
barreiro@fisica.edu.uy