

# SIMULACIÓN DE LA TORMENTA DEL 08 DE AGOSTO DE 2015, USANDO UN MODELO ATMOSFÉRICO REGIONAL DE ALTA RESOLUCIÓN.

MARÍA JOSÉ ARAYA LOBOS

27 DE NOVIEMBRE DE 2024



# INTRODUCCIÓN

La zona central de Chile se caracteriza por la presencia del anticiclón subtropical del Pacífico Sur (ASPS), el cual funciona como una barrera natural y ha evitado que diferentes sistemas frontales entren en contacto con la costa de Chile central.

En el mes agosto de 2015 se presentó una serie de temporales que afectaron la zona central de Chile. En el corto plazo, se desarrollaron tres situaciones de inestabilidad atmosférica, la primera ocurrida el 02 de agosto con la llegada de un oleaje significativo que se extendió desde el extremo sur del océano pacífico, afectando las bahías de la zona sur, seguido de un nuevo sistema frontal los días 05 y 06, caracterizados por vientos e intensas precipitaciones, las que antecedieron a uno de los más destructivos sistemas frontales que se ha desarrollado en las costas de la zona central, la cual registró bajas presiones atmosféricas, vientos superficiales de gran magnitud, oleaje intenso, sumado a fuertes precipitaciones.

Una herramienta de gran ayuda para el análisis del comportamiento de un evento meteorológico extremo, son los modelos regionales. Por ejemplo (WRF), es un modelo atmosférico que desarrolla pronósticos avanzados de meso-escala y posee un sistema de asimilación de datos eficiente, preciso, escalable y además de una gran cantidad de plataformas informáticas



# OBJETIVOS

## GENERAL

Implementar, calibrar y validar el modelo WRF para simular la tormenta del 08 de agosto de 2015 en la costa de Chile central.

## ESPECÍFICOS

- Implementar una configuración de alta resolución espacial utilizando dominios anidados para representar la zona central de Chile.
- Realizar simulaciones atmosféricas de la tormenta del 08 de agosto de 2015, utilizando diferentes bases de datos como forzantes y distintas parametrizaciones físicas.
- Validar las simulaciones con datos atmosféricos observados durante la tormenta.

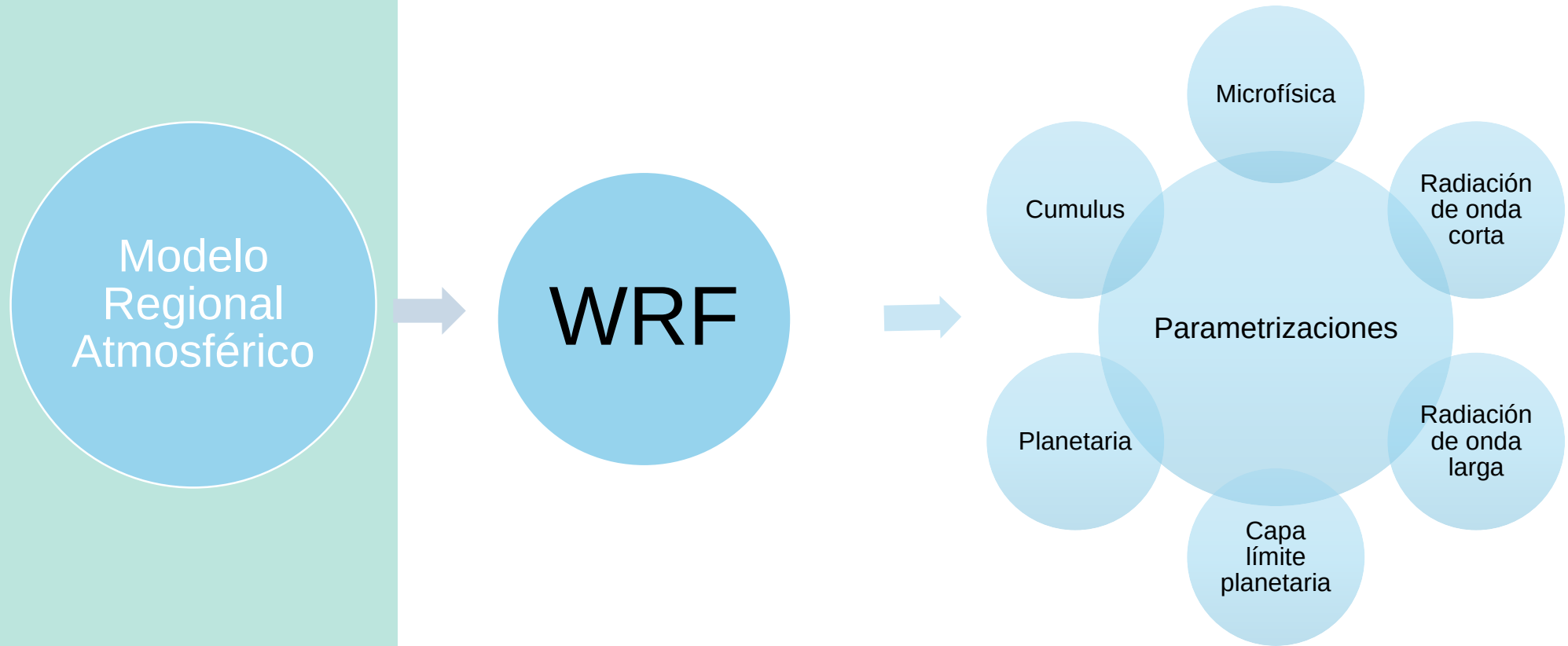
# ALCANCES Y LIMITACIONES

Para la realización del estudio y validación de la tormenta del 8 de agosto de 2015, se considera el uso de un programa de licencia gratuita denominado “Modelo de Simulación Atmosférico y Pronóstico del Tiempo”, considerando que citado programa cuenta con un dominio espacial definido en la región de Valparaíso en las coordenadas Latitud  $33^{\circ}03'47''$ Sur y Longitud  $71^{\circ}38'22''$ Oeste.

Las simulaciones se realizarán con las bases de datos de reanálisis ERA5 y CFSR. Una vez implementadas las simulaciones, la validación se realizará con 42 estaciones pertenecientes a las regiones de Atacama, Coquimbo, Metropolitana, Valparaíso, Libertador General Bernardo O'Higgins y Maule.

El dominio, resolución y tiempo de simulación están determinados por la capacidad computacional con la que cuenta el Laboratorio Nacional de Computación de Alto Rendimiento (NLHPC)

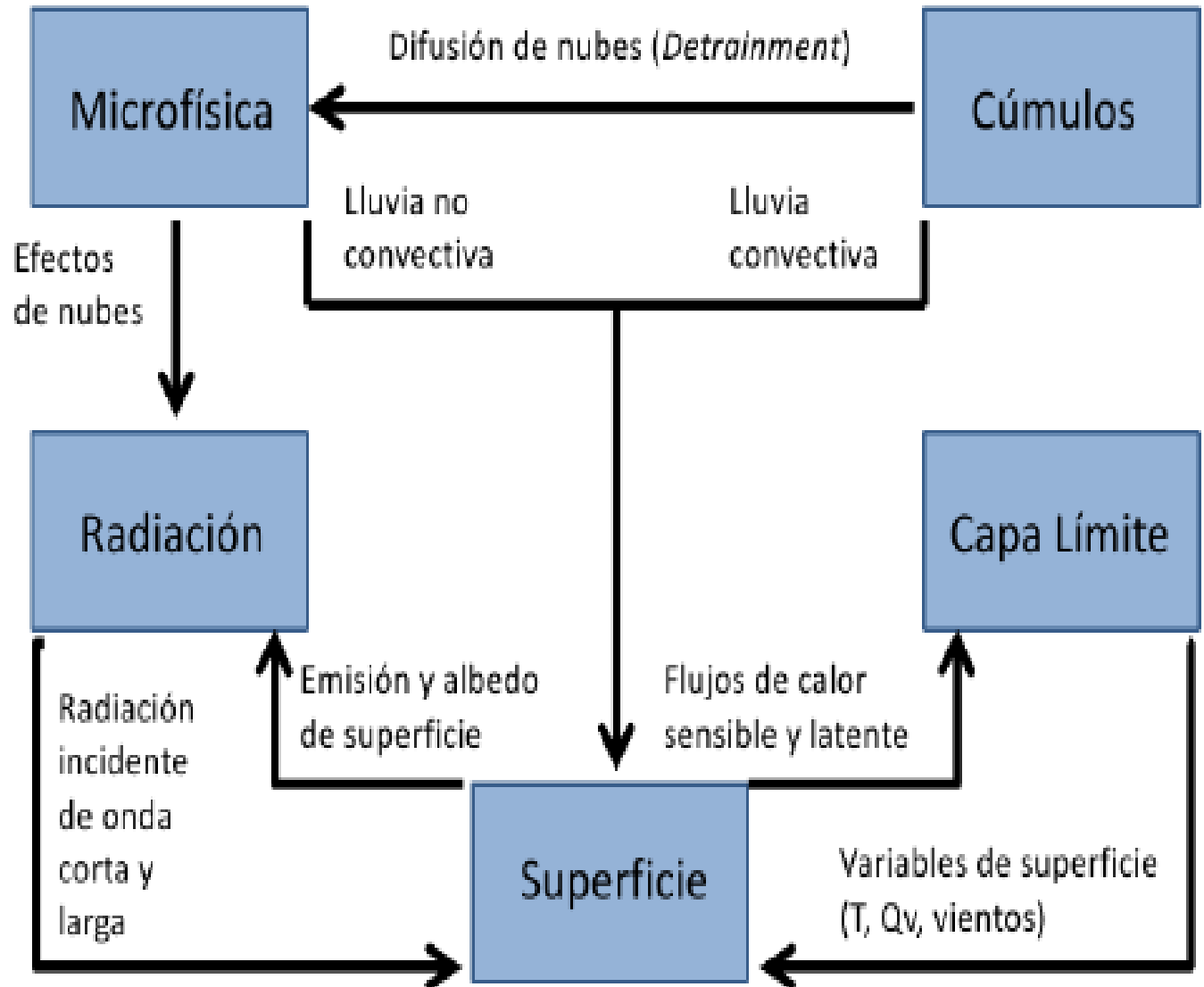
# MARCO TEÓRICO



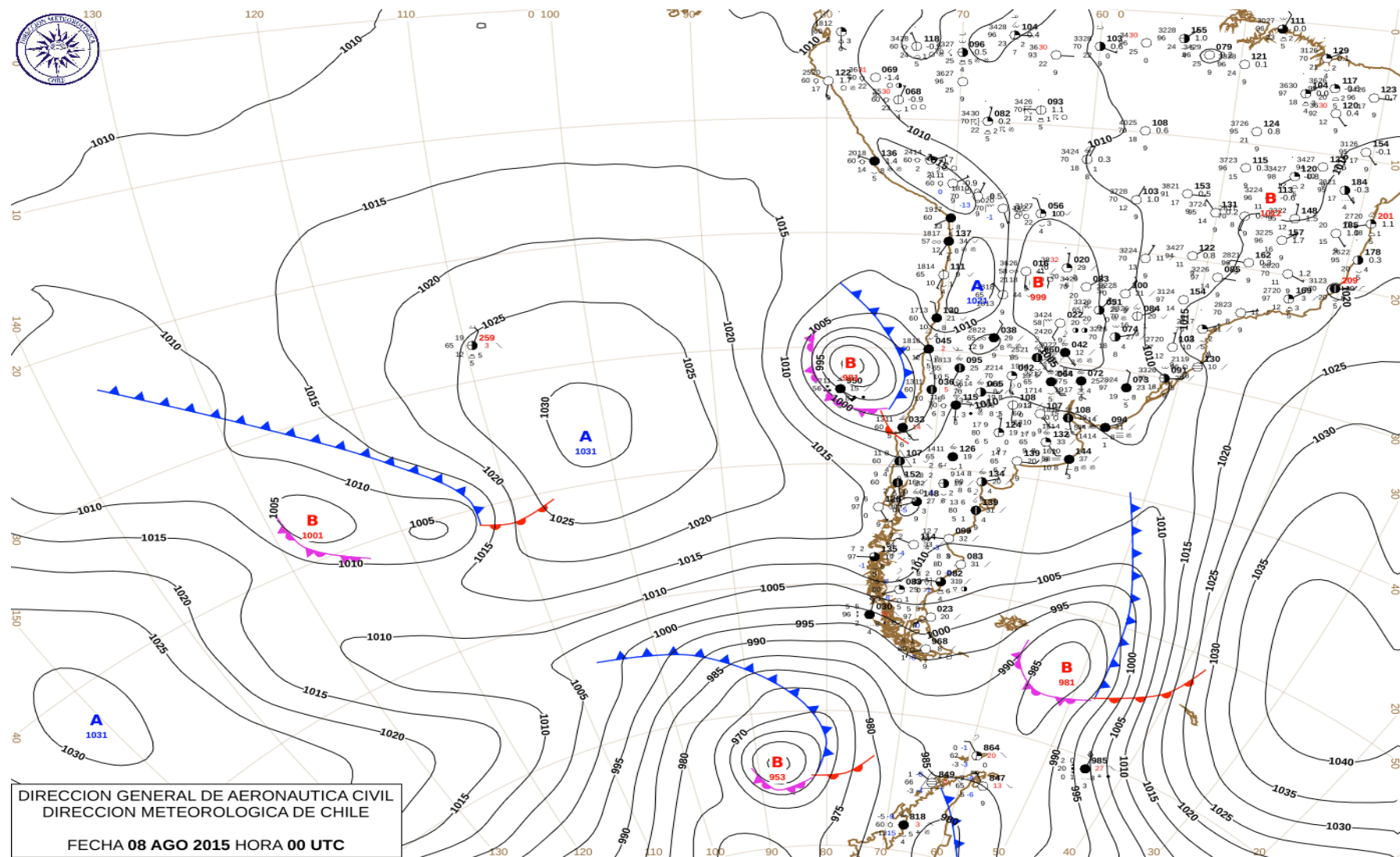
# MODELO WRF

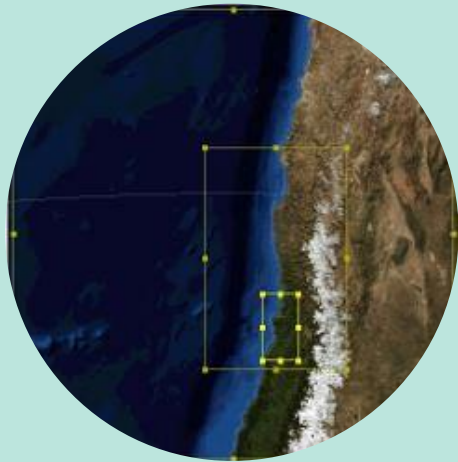
Uno de los modelos regionales más utilizados es weather research and forecasting (WRF), el cual se desarrolló a fines del año 1990, como un esfuerzo colaborativo entre la administración nacional oceánica y atmosférica de estados unidos (NOAA), centros para la predicción del medio ambiente (NCEP), por nombrar algunos, donde su primera versión oficial WRF 1.3 data del año 2000, llegando en la actualidad a la versión 4.3. (Skamarock et al., 2005). El modelo WRF es una herramienta multidisciplinaria de investigación que permite describir el comportamiento de la atmósfera y la estructura de sistemas complejos, el cual es un modelo probado y utilizado por una amplia comunidad a nivel mundial y que está en constante mejoramiento.

# PARAMETRIZACIONES



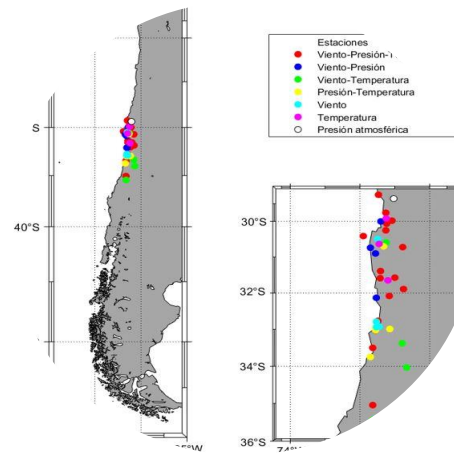
# TORMENTA DEL 08 DE AGOSTO DE 2015





- Descripción de las simulaciones

# METODOLOGÍA



- Fuentes de información

error cuadrático medio

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}$$

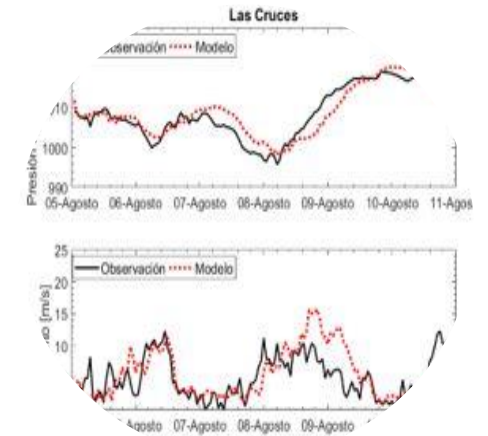
- Sesgo(BIAS)

$$BIAS = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_i - O_i$$

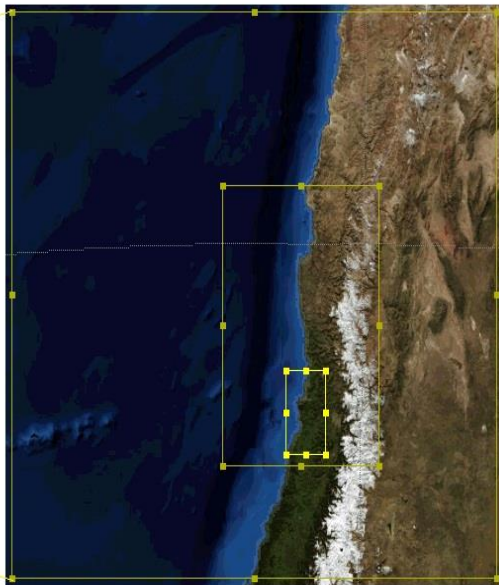
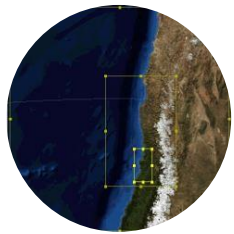
Coefficiente de determinación ( $R^2$ )

$$R^2 = \frac{cov(O, P)^2}{s_O^2 s_P^2}$$

- Procesamiento de datos

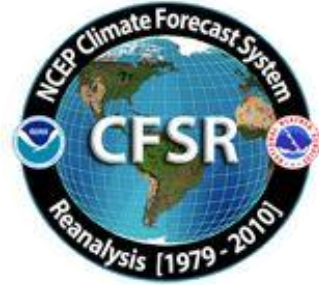
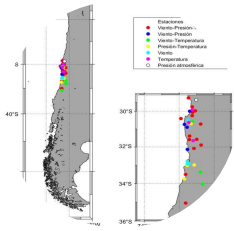


- Validación de simulaciones

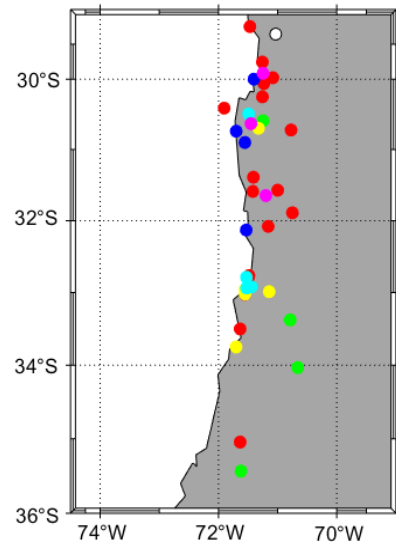
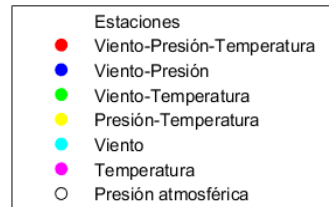
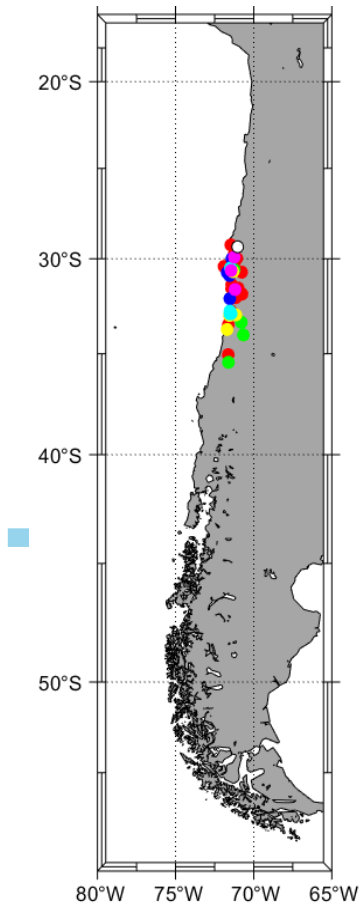


| Dominio | Resolución horizontal | Grilla    | Proyección geográfica | Resolución topográfica |
|---------|-----------------------|-----------|-----------------------|------------------------|
| D01     | 9 km                  | 145 x 130 | Lambert               | 5'                     |
| D02     | 3 km                  | 145 x 190 | Lambert               | 2'                     |
| D03     | 1 km                  | 88 x 172  | Lambert               | 30"                    |

- **Condiciones de borde:**
  - CFSR
  - ERA5
- **Periodo:**
  - 25 de julio al 21 de agosto de 2015
- **Simulaciones:**
  - 16



# ESTACIONES METEOROLÓGICAS



| N° | Estación               | Coordenadas |            |           | Fuente   | Variables |         |             |
|----|------------------------|-------------|------------|-----------|----------|-----------|---------|-------------|
|    |                        | latitud °   | Longitud ° | Altura(m) |          | Viento    | Presión | Temperatura |
| 1  | Algarrobo              | -30,633     | -71,451    | 80        | CEAZA    |           |         | 1           |
| 2  | Caleta Toro            | -30,740     | -71,700    | 23        | CEAZA    | 1         | 1       |             |
| 3  | Camarico               | -30,699     | -71,322    | 290       | CEAZA    |           | 1       | 1           |
| 4  | Canela                 | -31,390     | -71,410    | 350       | CEAZA    | 1         | 1       | 1           |
| 5  | Colmo                  | -32,922     | -71,442    | 10        | SINCA    | 1         |         |             |
| 6  | Concón                 | -32,925     | -71,516    | 10        | SINCA    | 1         |         | 1           |
| 7  | Coquimbo               | -30,000     | -71,400    | 122       | CEAZA    | 1         | 1       |             |
| 8  | Cúrico                 | -35,436     | -71,619    | 208       | DGA      |           |         |             |
| 9  | Gabriela Mistral       | -29,979     | -71,080    | 198       | CEAZA    | 1         | 1       | 1           |
| 10 | Huintil                | -31,573     | -70,998    | 360       | CEAZA    | 1         | 1       | 1           |
| 11 | Illapel                | -31,648     | -71,197    | 275       | CEAZA    |           |         | 1           |
| 12 | Junta de Vecinos       | -32,935     | -71,526    | 10        | SINCA    | 1         |         |             |
| 13 | La Campaña             | -32,988     | -71,143    | 350       | UPLA     |           | 1       | 1           |
| 14 | La Florida             | -35,435     | -71,678    |           | SINCA    | 1         |         |             |
| 15 | La Serena              | -29,915     | -71,247    | 90        | CEAZA    |           |         | 1           |
| 16 | La Serena Romeral      | -29,755     | -71,258    | 162       | CEAZA    | 1         | 1       | 1           |
| 17 | Las Cardas             | -30,251     | -71,257    | 282       | CEAZA    | 1         | 1       | 1           |
| 18 | Las Cruces             | -33,502     | -71,634    | 20        | PUC      | 1         | 1       | 1           |
| 19 | Las Gaviotas           | -32,918     | -71,482    | 10        | SINCA    | 1         |         |             |
| 20 | Loncura                | -32,795     | -71,496    | 10        | SINCA    | 1         | 1       | 1           |
| 21 | Meteorología Principal | -32,766     | -71,484    | 10        | SINCA    | 1         | 1       | 1           |
| 22 | Mincha Sur             | -31,590     | -71,420    | 50        | CEAZA    | 1         | 1       | 1           |
| 23 | Montemar               | -32,957     | -71,550    | 23        | Armada   |           | 1       | 1           |
| 24 | Ovalle                 | -30,592     | -71,248    | 292       | CEAZA    | 1         |         | 1           |
| 25 | Pan de Azúcar          | -30,067     | -71,233    | 135       | CEAZA    | 1         | 1       | 1           |
| 26 | Peñablanca             | -30,901     | -71,554    | 370       | CEAZA    | 1         | 1       |             |
| 27 | Pichasca               | -30,413     | -71,903    | 670       | CEAZA    | 1         | 1       | 1           |
| 28 | Pichidanguí            | -32,131     | -71,531    | 40        | CEAZA    | 1         | 1       |             |
| 29 | Playa Ancha            | -33,023     | -71,633    | 60        | Ghisolfo | 1         | 1       | 1           |
| 30 | Pudahuel               | -33,378     | -70,788    | 482       | DGAC     | 1         |         | 1           |
| 31 | Punta Colorada         | -29,354     | -71,033    | 379       | CEAZA    |           | 1       | 1           |
| 32 | Punta de Choros        | -29,246     | -71,469    | 1         | CEAZA    | 1         | 1       | 1           |
| 33 | Quebrada Seca          | -30,496     | -71,491    | 111       | CEAZA    | 1         |         |             |
| 34 | Quintero               | -32,788     | -71,528    | 10        | SINCA    | 1         |         |             |
| 35 | Rapel                  | -30,723     | -70,773    | 862       | CEAZA    | 1         | 1       | 1           |
| 36 | Salamanca              | -31,890     | -70,750    | 840       | CEAZA    | 1         | 1       | 1           |
| 37 | Tilama                 | -32,080     | -71,160    | 0         | CEAZA    | 1         | 1       | 1           |
| 38 | U. de Talca            | -35,047     | -71,633    | 110,5     | SINCA    | 1         | 1       | 1           |
| 39 | Vicuña                 | -30,038     | -70,697    | 634       | CEAZA    |           | 1       | 1           |
| 40 | Viña del mar           | -33,020     | -71,550    | 10        | PUCV     |           | 1       | 1           |
| 41 | Yali 01                | -33,750     | -71,702    | 10        | UPLA     |           | 1       | 1           |
| 42 | Yali 02                | -33,749     | -71,702    | 10        | UPLA     |           | 1       | 1           |

error cuadrático medio

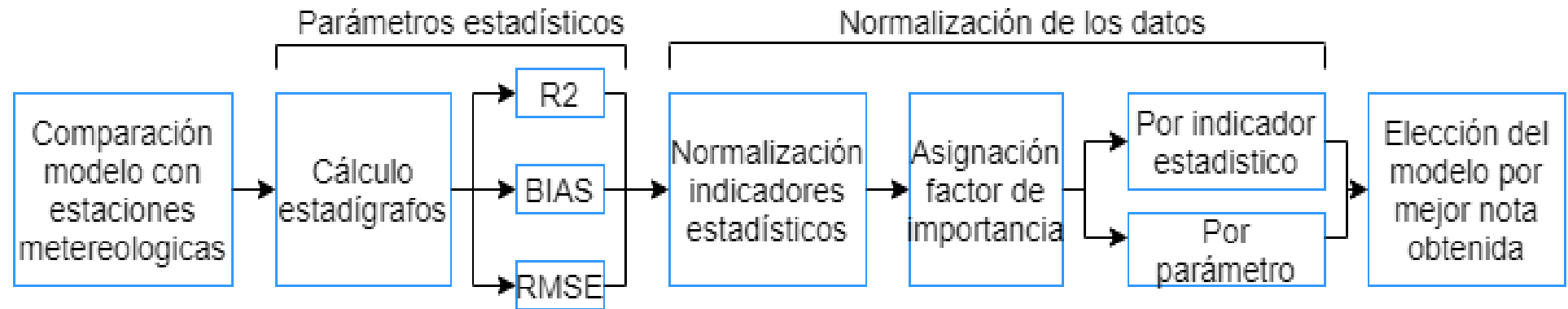
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (p_i - o_i)^2}$$

Sesgo(BIAS)

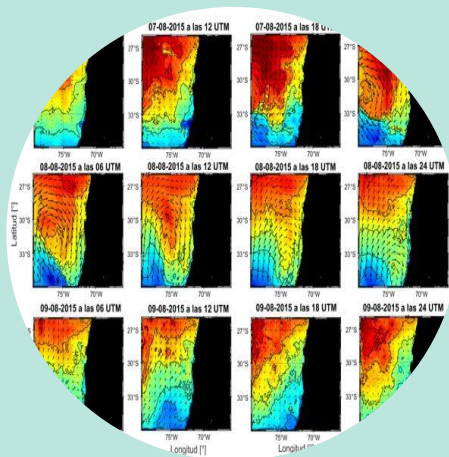
$$BIAS = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N p_i - o_i$$

Coefficiente de determinación ( $R^2$ )

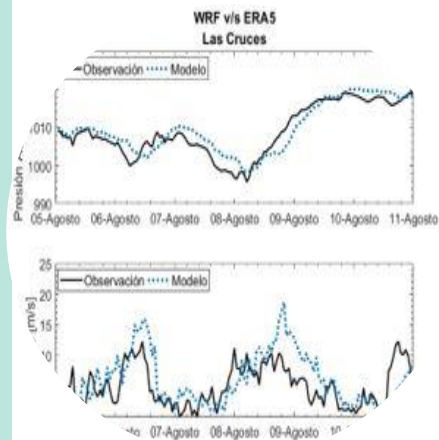
$$R^2 = \frac{cov(O, P)^2}{s_o^2 s_p^2}$$



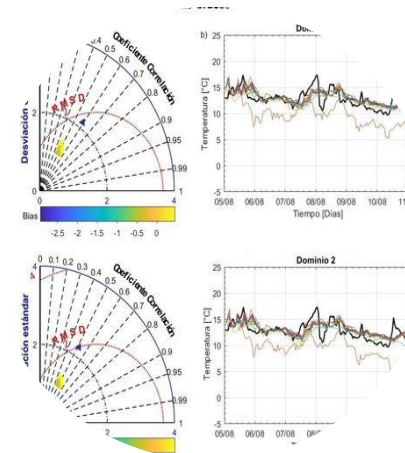
# RESULTADOS



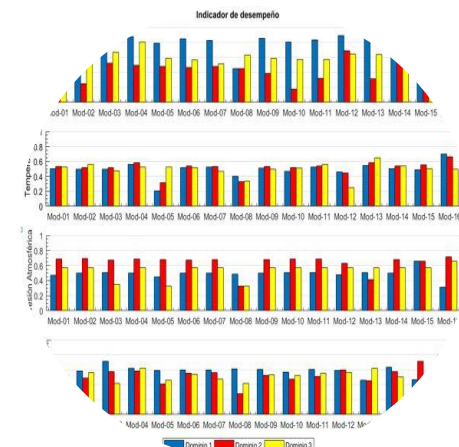
- Relación física entre variables



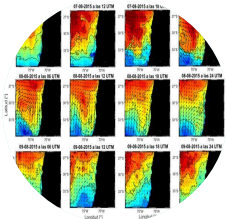
- Comparación de una simulación con la estación meteorológica de las cruces



- Comparación de todas las simulaciones con la estación meteorológica de las cruces



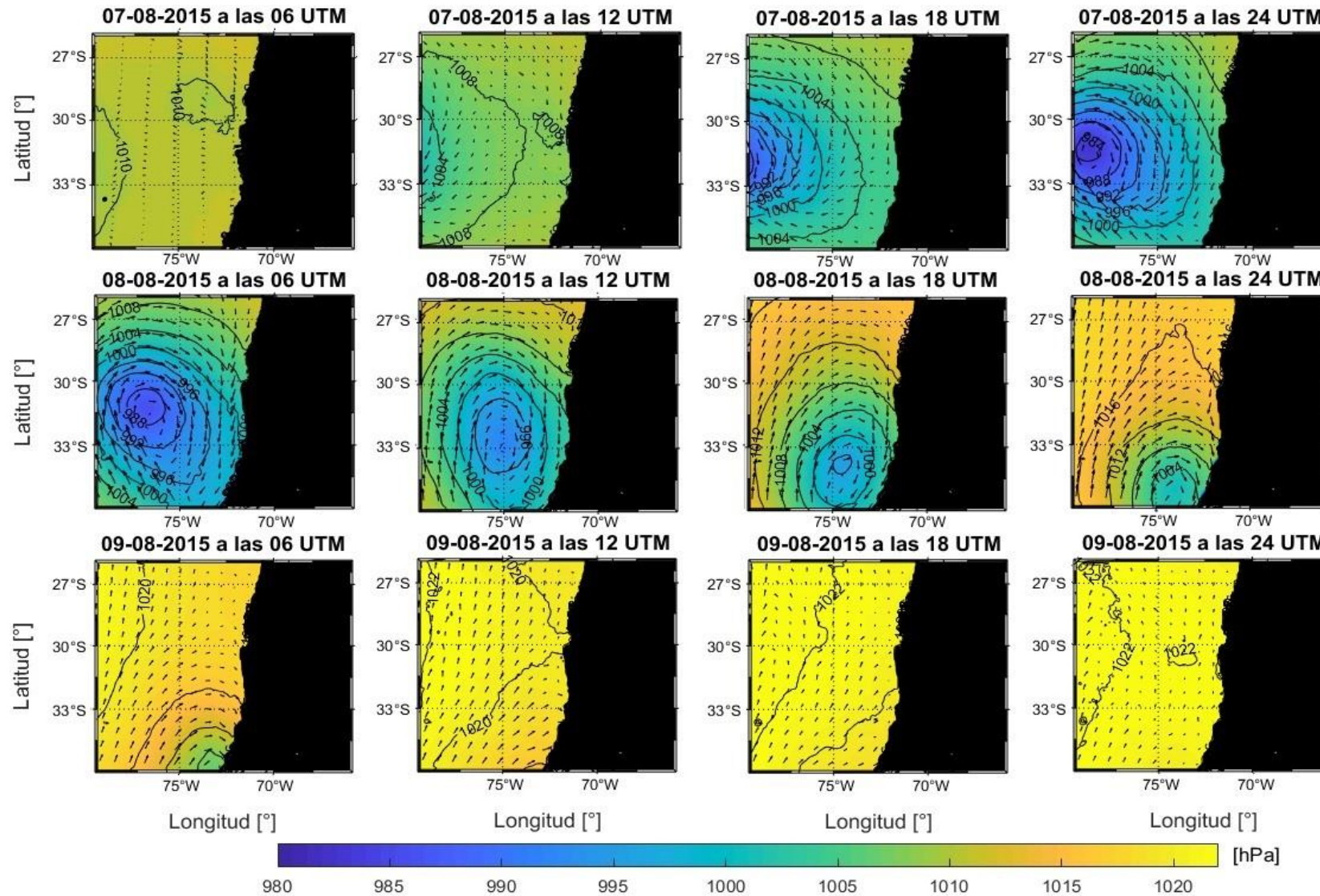
- Parámetros estadísticos



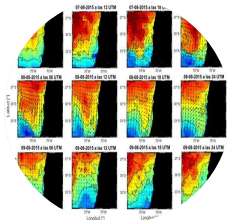
# PERFILES PRESIÓN ATMOSFÉRICA Y VIENTO

RESULTADOS

RELACIÓN FÍSICA ENTRE VARIABLES



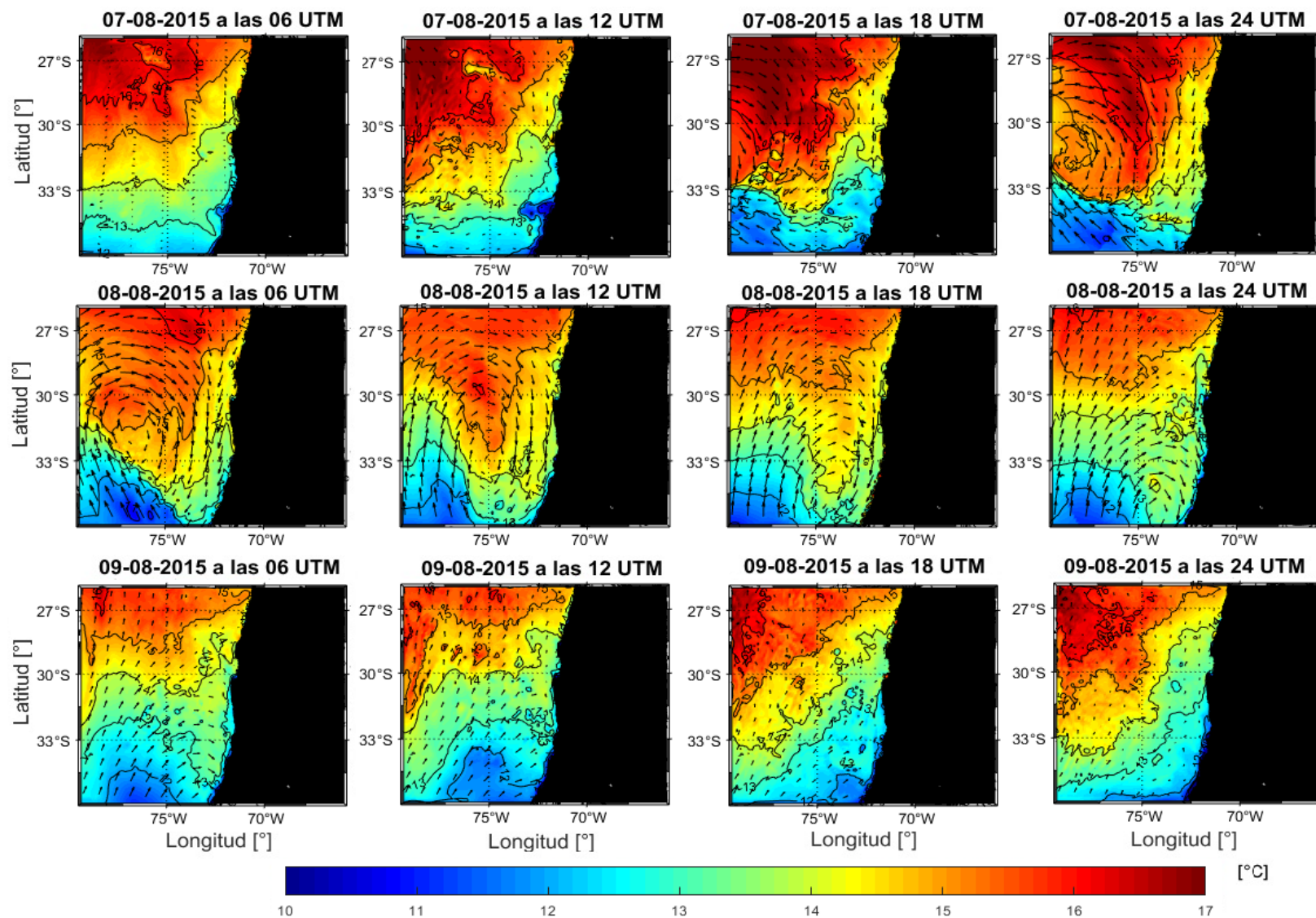
— Isobaras  
→ Vector viento



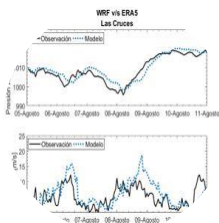
# PERFILES VIENTO Y TEMPERATURA

RESULTADOS

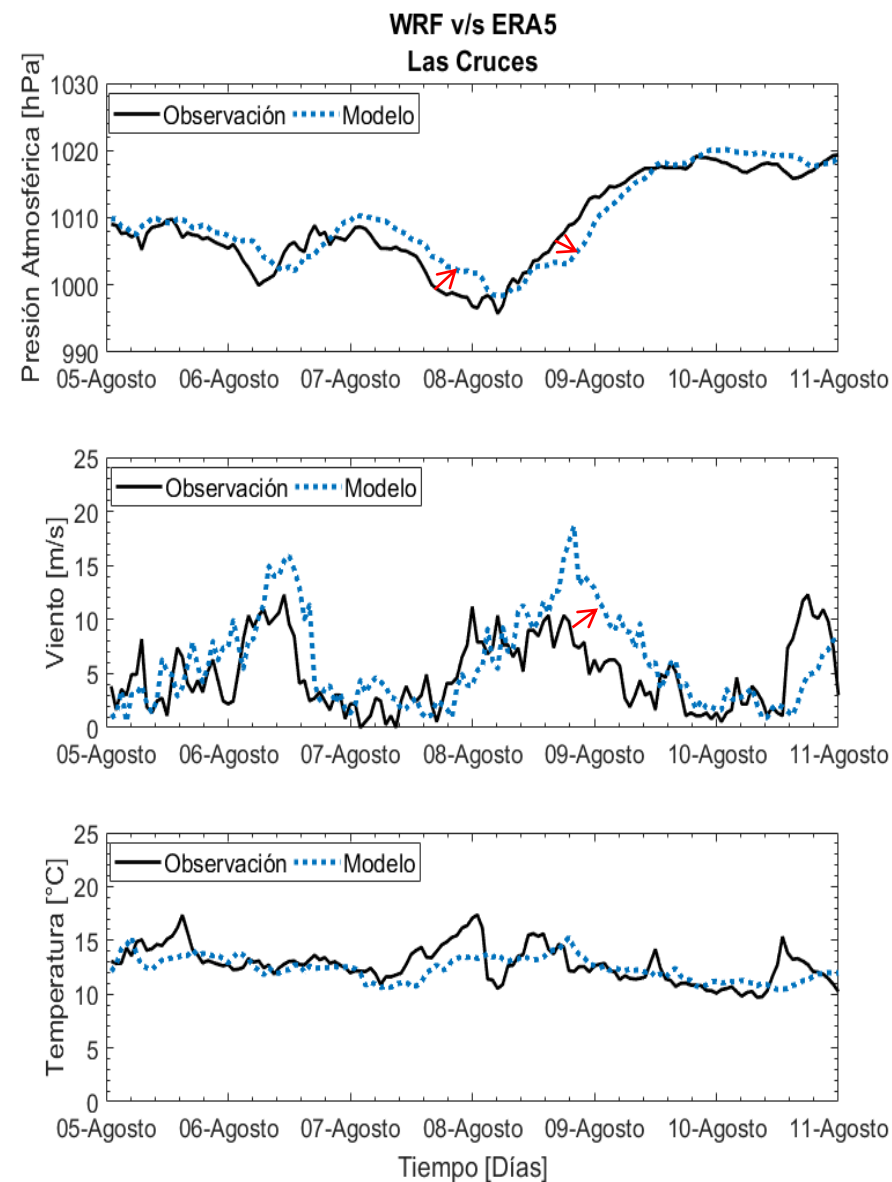
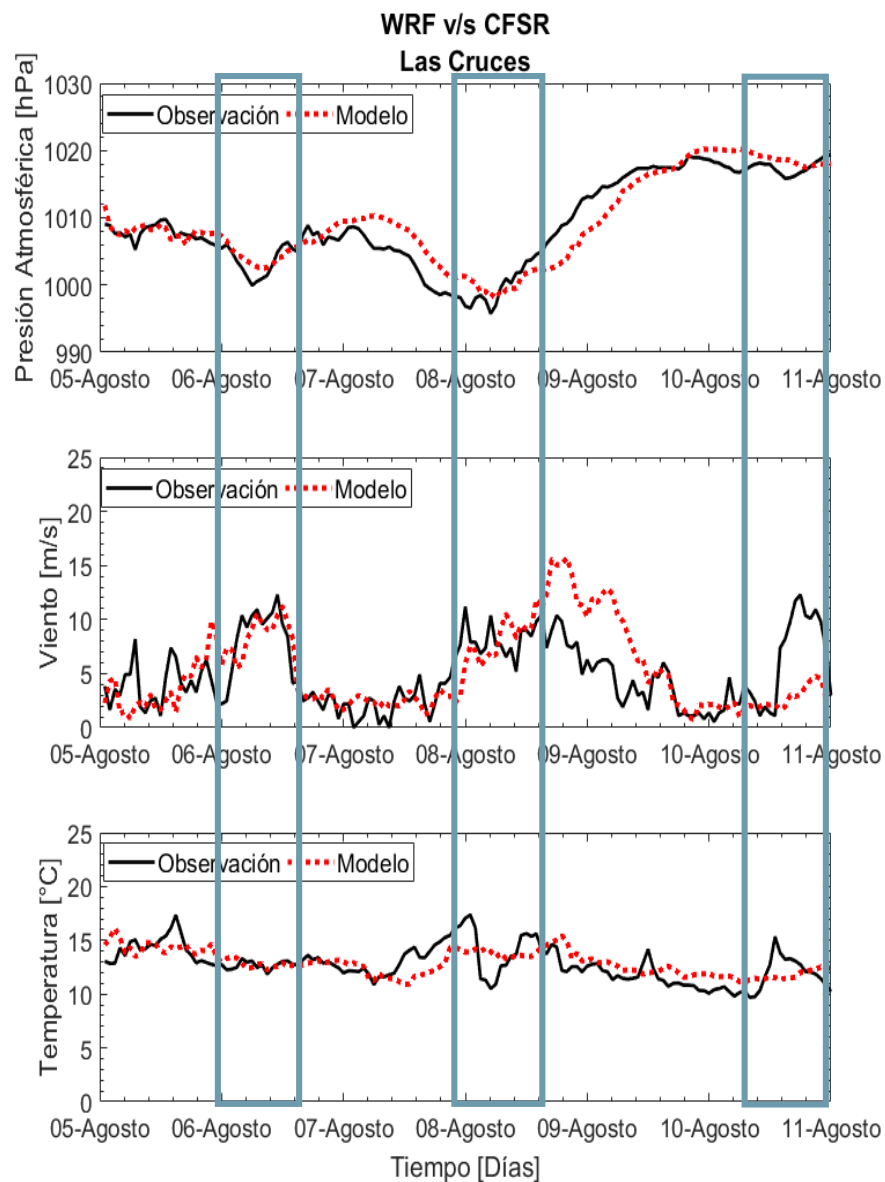
RELACIÓN FÍSICA ENTRE VARIABLES



— Isotermas  
→ Vector viento

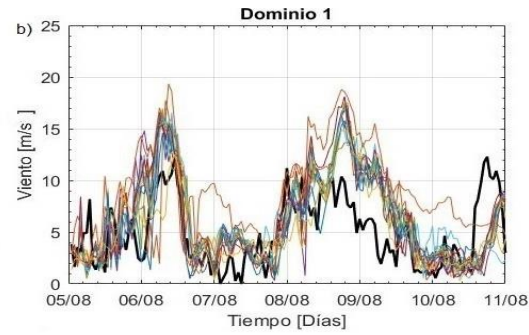
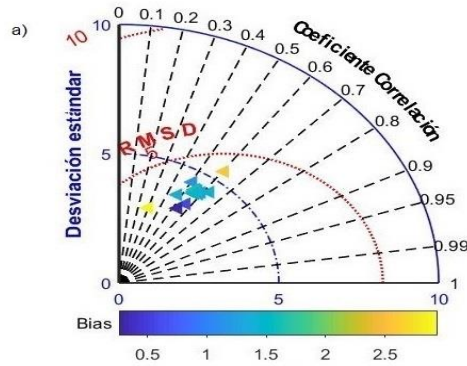


# COMPARACIÓN RESULTADOS DE LA MISMA ESTACIÓN VERSUS DOS FORZANTES DIFERENTES

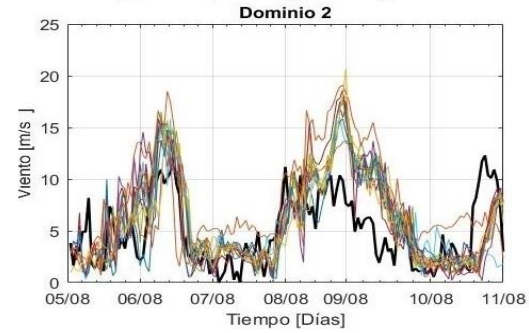
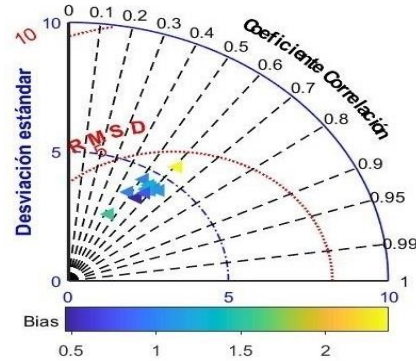


# SERIE DE TIEMPO DEL VIENTO

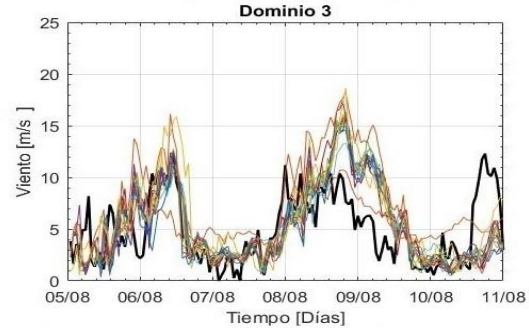
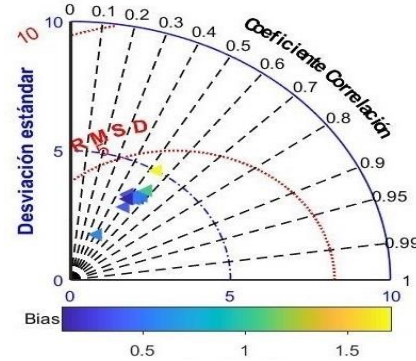
## Las Cruces



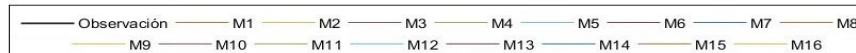
$R^2 = [0,3 - 0,7]$   
Bias =  $[0,5 - 2,5]$   
RMSE = menor a 5



$R^2 = [0,4 - 0,7]$   
Bias =  $[0,5 - 2]$   
RMSE = menor a 5

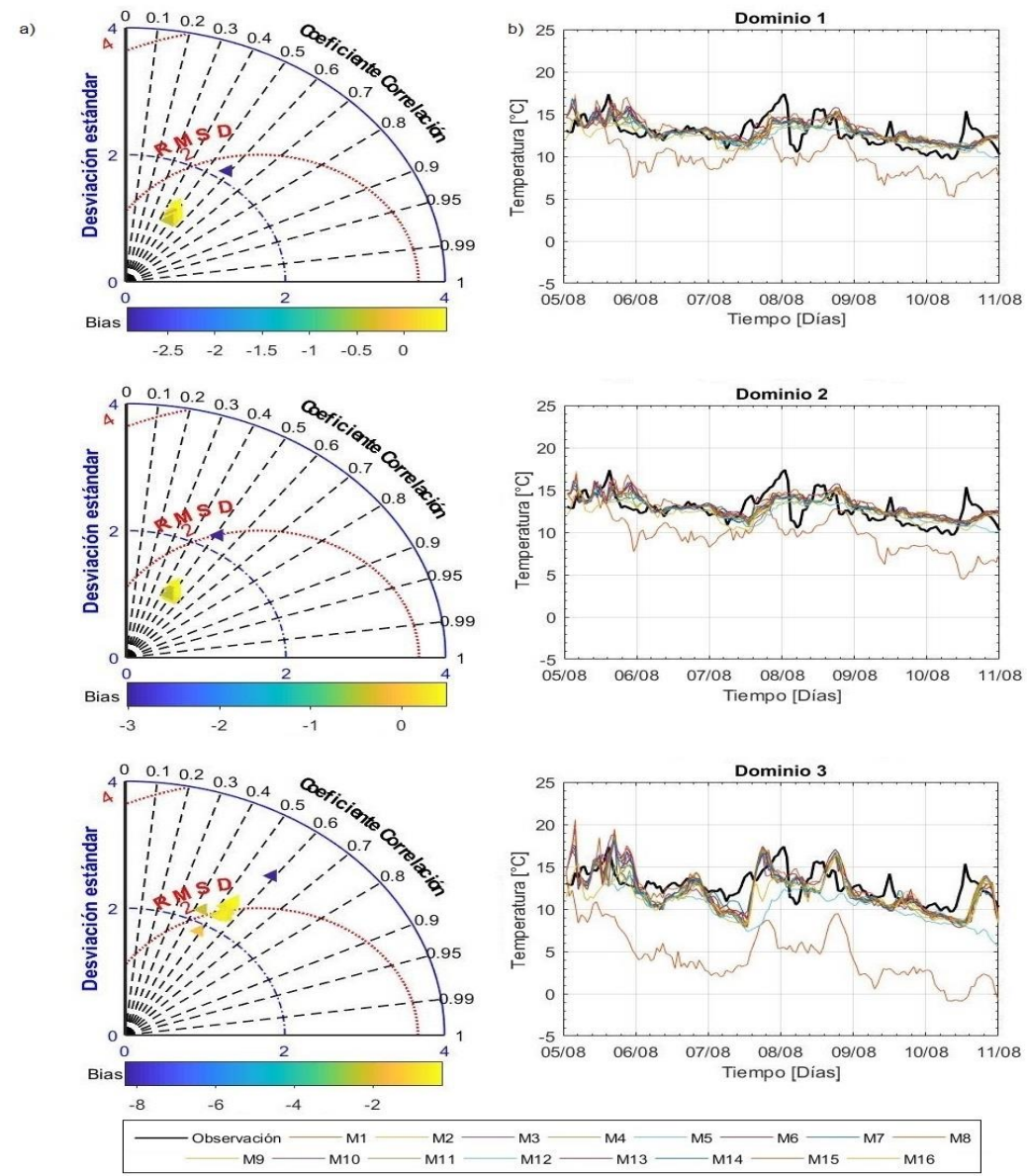


$R^2 = [0,4 - 0,6]$   
Bias =  $[0,5 - 1,5]$   
RMSE = menor a 5



# SERIE DE TIEMPO DE TEMPERATURA

## Las Cruces



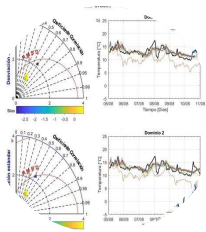
$R^2 = [0,4 - 0,6]$   
 Bias =  $[-2,5 - 0]$   
 RMSE = menor a 2



$R^2 = [0,4 - 0,6]$   
 Bias =  $[-3 - 0]$   
 RMSE = menor a 2



$R^2 = [0,4 - 0,6]$   
 Bias =  $[-8 - -2]$   
 RMSE = menor a 4

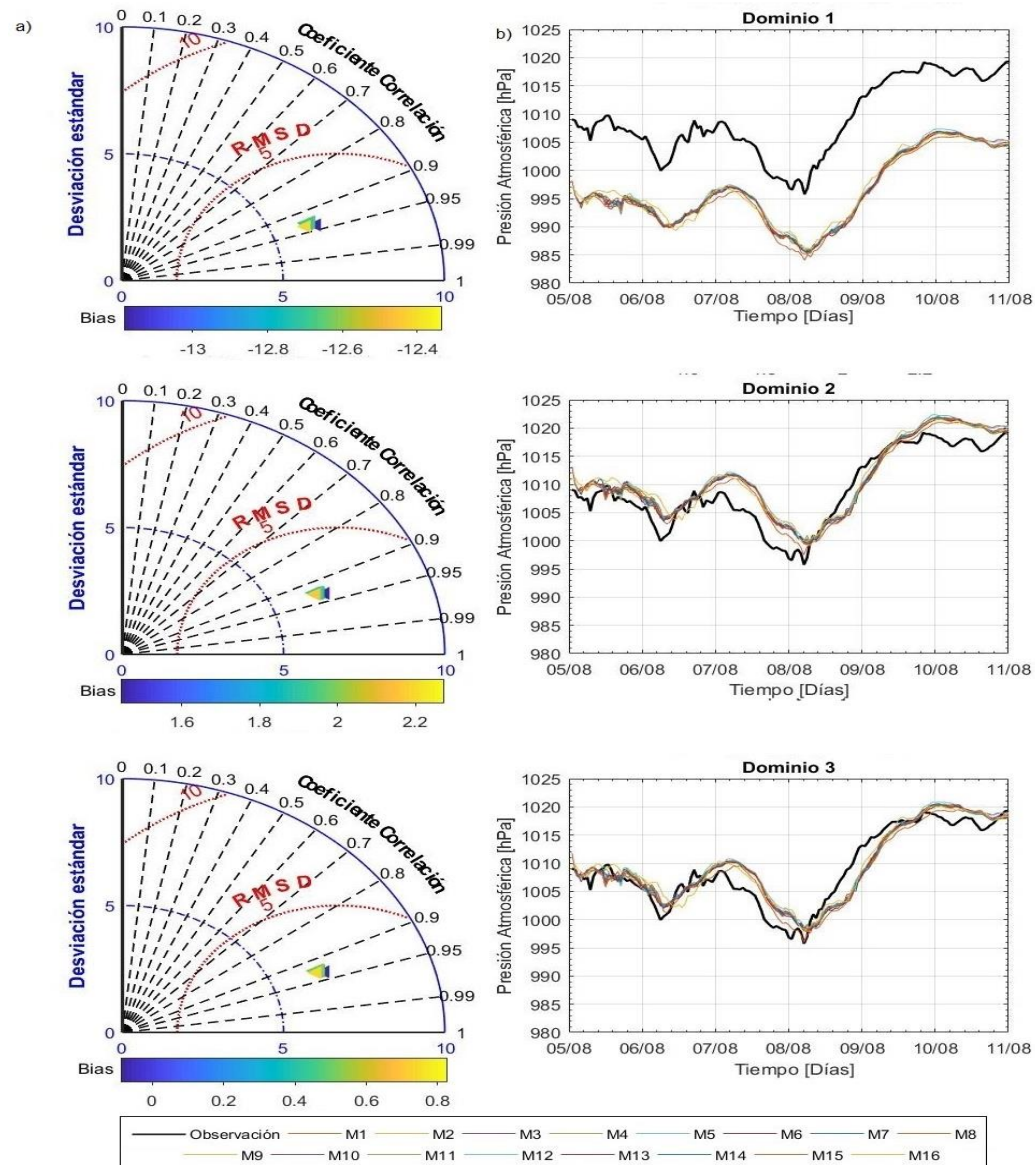


## RESULTADOS

COMPARACIÓN DE TODAS LAS SIMULACIONES CON LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA LAS CRUCES

# SERIE DE TIEMPO DE PRESIÓN ATMOSFÉRICA

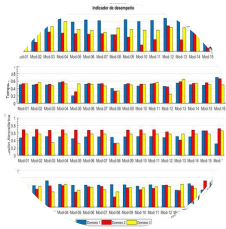
## Las Cruces



$R^2 = [0,9 - 0,95]$   
Bias =  $[-13 - 12,4]$   
RMSE = menor a 5

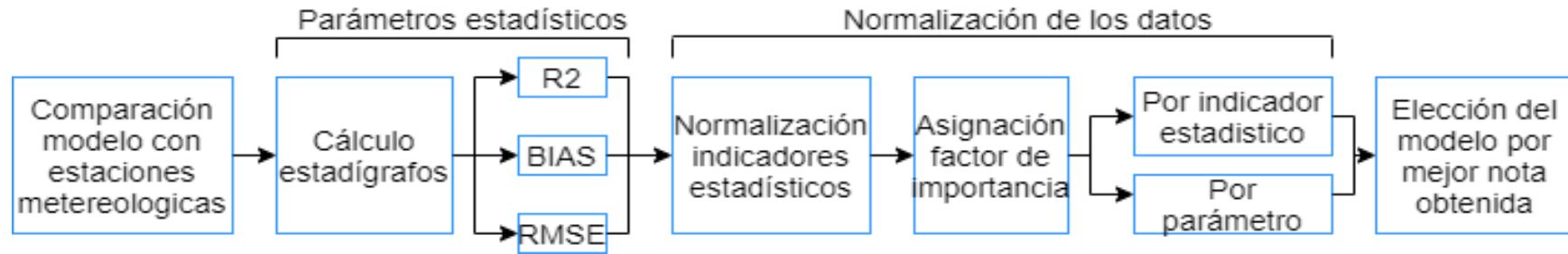
$R^2 = [0,9 - 0,95]$   
Bias =  $[1,6 - 2,2]$   
RMSE = menor a 5

$R^2 = [0,9 - 0,95]$   
Bias =  $[0 - 0,8]$   
RMSE = menor a 5



## RESULTADOS

### PARÁMETROS ESTADÍSTICOS



|       |         | Mejor escenario Global |        | Mejor escenario Viento |        | Mejor escenario Presión Atm. |        | Mejor escenario Temperatura |        |
|-------|---------|------------------------|--------|------------------------|--------|------------------------------|--------|-----------------------------|--------|
|       | Ranking | Nota                   | Modelo | Nota                   | Modelo | Nota                         | Modelo | Nota                        | Modelo |
| Dom 1 | 1       | 0,803                  | 16     | 0,913                  | 13     | 0,660                        | 15     | 0,702                       | 16     |
|       | 2       | 0,712                  | 3      | 0,911                  | 16     | 0,511                        | 3      | 0,562                       | 4      |
|       | 3       | 0,631                  | 14     | 0,887                  | 14     | 0,508                        | 13     | 0,546                       | 13     |
| Dom 2 | 1       | 0,761                  | 16     | 0,964                  | 16     | 0,715                        | 16     | 0,665                       | 16     |
|       | 2       | 0,716                  | 15     | 0,894                  | 15     | 0,692                        | 2      | 0,583                       | 13     |
|       | 3       | 0,601                  | 12     | 0,686                  | 12     | 0,690                        | 4      | 0,580                       | 4      |
| Dom 3 | 1       | 0,618                  | 4      | 0,805                  | 4      | 0,660                        | 16     | 0,647                       | 13     |
|       | 2       | 0,617                  | 13     | 0,689                  | 2      | 0,572                        | 7      | 0,560                       | 2      |
|       | 3       | 0,563                  | 2      | 0,668                  | 3      | 0,572                        | 13     | 0,560                       | 11     |

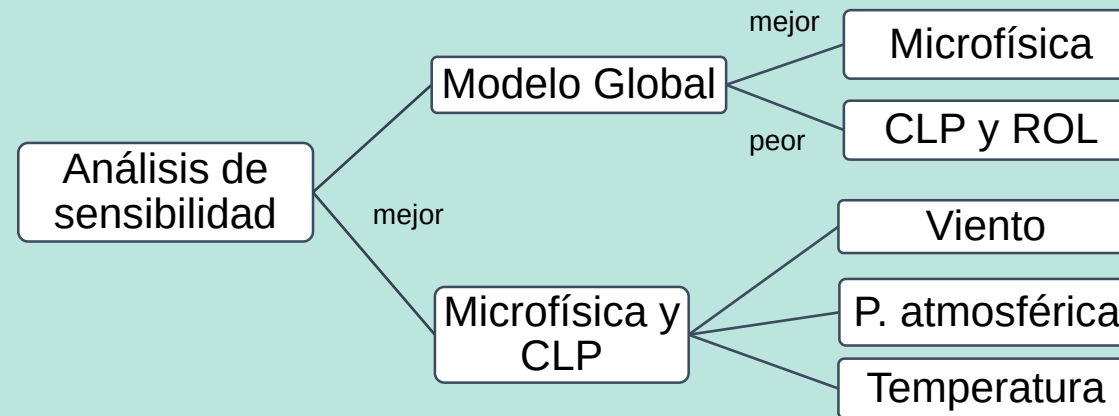
| Parámetros             | Nombre variable | Esquema |
|------------------------|-----------------|---------|
| Microfísica            | mp_physics      | kessler |
| Radiación onda larga   | ra_lw_physics   | RRTMG   |
| Radiación onda corta   | ra_sw_physics   | RRTMG   |
| Capa limite planetaria | bl_pbl_physics  | MYJ     |
| Cúmulos                | cu_physics      | Tiedtke |

# DISCUSIÓN Y RECOMENDACIONES

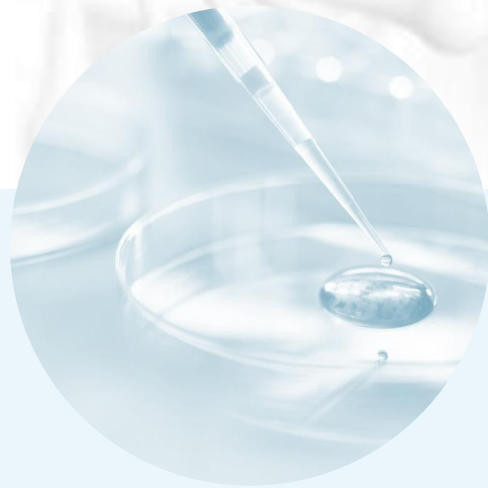
- Anticiclón Subtropical del Pacifico Sur
  - Centro en 30°S - 100°O
  - Vientos de Este – Oeste
- Precisión de los modelos
- Estadígrafos
- Modelo WRF
- Bases de datos meteorológicas

# CONCLUSIONES

- Se cumple el objetivo general



- Fuentes de información



GRACIAS

