

Fuentes Globales de Humedad: caracterización y estudio de su variabilidad

Rodrigo Castillo Rodríguez

Programa de Doctorado en Ciencias del Clima
Environmental Physics Laboratory
Facultade de Ciencias
Universidade de Vigo

17 de setiembre 2015



1 Motivación

- Interés principal

2 Introducción

3 Metodología

4 Desarrollo

5 Conclusiones

1 Motivación

2 Introducción

- Ciclo hidrológico
- Principales fuentes de humedad oceánicas
- Objetivos

3 Metodología

4 Desarrollo

5 Conclusiones

- 1 Motivación
- 2 Introducción
- 3 Metodología
 - Principios físicos
 - Aproximación lagrangiana
 - Configuración de FLEXPART
 - Técnica de “composites”
- 4 Desarrollo
- 5 Conclusiones

1 Motivación

2 Introducción

3 Metodología

4 Desarrollo

- Distribución de la precipitación continental
- Intensificación de las principales fuentes de humedad
- Papel de los principales modos de variabilidad climática
- Fuentes de precipitación vinculadas al cambio climático
- Fuentes de humedad para las regiones climáticas continentales

5 Conclusiones

- 1 Motivación
- 2 Introducción
- 3 Metodología
- 4 Desarrollo
- 5 Conclusiones

Interés principal

- *La motivación inicial de este trabajo proviene del impacto en la comunidad científica del primer intento de realizar un estudio de este tipo por **Gimeno et al. (2010)**, el cual utilizó un dominio temporal pequeño de tan sólo cinco años de datos, de 2000 a 2004.*
- *Se fundamenta en la falta de un estudio y una caracterización climática detallada y de dominio temporal amplio del transporte global de humedad utilizando un modelo lagrangiano de dispersión de partículas, que permita un análisis de variabilidad.*

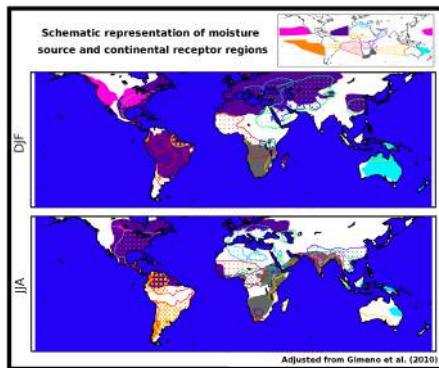
Se puede resumir esencialmente como la evaporación del agua en un lugar determinado compensada por la precipitación en otro.



Se puede resumir esencialmente como la evaporación del agua en un lugar determinado compensada por la precipitación en otro.



Principales fuentes de humedad oceánicas



Gimeno et al. (2010) en su artículo **“On the origin of continental precipitation”** identificó con éxito aquellas regiones continentales que se ven afectadas por la precipitación asociada a masas de aire húmedo procedentes de regiones oceánicas específicas.

Objetivos

Preguntas científicas

- 1 *¿Cómo los cambios en la intensidad, es decir, más evaporación sobre las regiones fuente de humedad oceánicas, afectan a la distribución de la precipitación continental?*
- 2 *¿Cuál es el papel de los principales modos de variabilidad climática como ENSO, NAM y SAM en la variabilidad de las fuentes de humedad?*
- 3 *¿Cuál es la influencia potencial en la precipitación continental de las regiones oceánicas vinculadas al cambio climático?*
- 4 *¿Cuáles son las principales fuentes de humedad y sus relaciones fuente-sumidero asociadas con las regiones climáticas continentales?*

Objetivos

Preguntas científicas

- 1 *¿Cómo los cambios en la intensidad, es decir, más evaporación sobre las regiones fuente de humedad oceánicas, afectan a la distribución de la precipitación continental?*
- 2 *¿Cuál es el papel de los principales modos de variabilidad climática como ENSO, NAM y SAM en la variabilidad de las fuentes de humedad?*
- 3 *¿Cuál es la influencia potencial en la precipitación continental de las regiones oceánicas vinculadas al cambio climático?*
- 4 *¿Cuáles son las principales fuentes de humedad y sus relaciones fuente-sumidero asociadas con las regiones climáticas continentales?*

Objetivos

Preguntas científicas

- 1 *¿Cómo los cambios en la intensidad, es decir, más evaporación sobre las regiones fuente de humedad oceánicas, afectan a la distribución de la precipitación continental?*
- 2 *¿Cuál es el papel de los principales modos de variabilidad climática como ENSO, NAM y SAM en la variabilidad de las fuentes de humedad?*
- 3 *¿Cuál es la influencia potencial en la precipitación continental de las regiones oceánicas vinculadas al cambio climático?*
- 4 *¿Cuáles son las principales fuentes de humedad y sus relaciones fuente-sumidero asociadas con las regiones climáticas continentales?*

Objetivos

Preguntas científicas

- 1 *¿Cómo los cambios en la intensidad, es decir, más evaporación sobre las regiones fuente de humedad oceánicas, afectan a la distribución de la precipitación continental?*
- 2 *¿Cuál es el papel de los principales modos de variabilidad climática como ENSO, NAM y SAM en la variabilidad de las fuentes de humedad?*
- 3 *¿Cuál es la influencia potencial en la precipitación continental de las regiones oceánicas vinculadas al cambio climático?*
- 4 *¿Cuáles son las principales fuentes de humedad y sus relaciones fuente-sumidero asociadas con las regiones climáticas continentales?*

Balance hídrico

El balance hídrico se describe por la siguiente ecuación:

$$E - P = \frac{\partial W}{\partial t} + \nabla \cdot \Theta \quad (1)$$

Donde W es el agua precipitable y se denota por:

$$W = \frac{1}{g} \int_0^{p_s} q dp \quad (2)$$

Y donde Θ es el integrado vertical del flujo de humedad y está dado por:

$$\Theta = \frac{1}{g} \int_0^{p_s} q \vec{V} dp \quad (3)$$

Para periodos largos de tiempo, el almacenamiento de agua precipitable puede ser despreciable, obteniendo:

$$E - P = \nabla \cdot \Theta \quad (4)$$

Balance hídrico

El balance hídrico se describe por la siguiente ecuación:

$$E - P = \frac{\partial W}{\partial t} + \nabla \cdot \Theta \quad (1)$$

Donde W es el agua precipitable y se denota por:

$$W = \frac{1}{g} \int_0^{p_s} q dp \quad (2)$$

Balance hídrico

El balance hídrico se describe por la siguiente ecuación:

$$E - P = \frac{\partial W}{\partial t} + \nabla \cdot \Theta \quad (1)$$

Donde W es el agua precipitable y se denota por:

$$W = \frac{1}{g} \int_0^{p_s} q dp \quad (2)$$

Y donde Θ es el integrado vertical del flujo de humedad y está dado por:

$$\Theta = \frac{1}{g} \int_0^{p_s} q \vec{V} dp \quad (3)$$

Para periodos largos de tiempo, el almacenamiento de agua precipitable puede ser despreciable, obteniendo:

$$E - P = \nabla \cdot \Theta \quad (4)$$

Balance hídrico

El balance hídrico se describe por la siguiente ecuación:

$$E - P = \frac{\partial W}{\partial t} + \nabla \cdot \Theta \quad (1)$$

Donde W es el agua precipitable y se denota por:

$$W = \frac{1}{g} \int_0^{p_s} q dp \quad (2)$$

Y donde Θ es el integrado vertical del flujo de humedad y está dado por:

$$\Theta = \frac{1}{g} \int_0^{p_s} q \vec{V} dp \quad (3)$$

Para periodos largos de tiempo, el almacenamiento de agua precipitable puede ser despreciable, obteniendo:

$$\boxed{E - P = \nabla \cdot \Theta} \quad (4)$$

Modelo FLEXPART

Aproximación lagrangiana

Los incrementos (e) y los decrecimientos (p) en la humedad a través de la trayectoria, se pueden calcular como cambios de (q) en el tiempo

$$e - p = m \frac{dq}{dt} \quad (5)$$

*La suma de los cambios de humedad ($e - p$) de todas la partículas en la columna atmosférica sobre un área específica A genera el **flujo de agua dulce superficial**, dado por:*

$$E - P \approx \frac{\sum_{k=1}^K (e - p)_k}{A} \quad (6)$$



Modelo FLEXPART

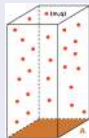
Aproximación lagrangiana

Los incrementos (e) y los decrecimientos (p) en la humedad a través de la trayectoria, se pueden calcular como cambios de (q) en el tiempo

$$e - p = m \frac{dq}{dt} \quad (5)$$

*La suma de los cambios de humedad ($e - p$) de todas la partículas en la columna atmosférica sobre un área específica A genera el **flujo de agua dulce superficial**, dado por:*

$$E - P \approx \frac{\sum_{k=1}^K (e - p)_k}{A} \quad (6)$$



Modelo FLEXPART

Configuración del FLEXPART

- 1 *Se alimentó con datos del reanálisis ERA-40/Interim del ECMWF.*
- 2 *La resolución temporal fue de 6h y la espacial de $1^\circ \times 1^\circ$, con 61 niveles en la vertical, de 0.1 a 1000 hPa (con ~ 14 niveles por debajo de 1500m y ~ 23 entre 1500m y 5000m).*
- 3 *Se utilizó dos periodos de análisis, uno de 21 años (1980-2000) y el otro de 33 años (1980-2012).*
- 4 *La atmósfera se dividió homogéneamente en un número grande de "partículas" (1.9 y 2.0 millones) con una masa constante (m).*
- 5 *Las partículas fueron advectadas usando el campo de velocidad tridimensional del reanálisis, con movimientos turbulentos estocásticos y convectivos superpuestos.*
- 6 *Las trayectorias fueron calculadas con un límite de tiempo de transporte de 10 días y los datos (q, pos, t) de las partículas fueron almacenadas cada 6h.*

Modelo FLEXPART

Configuración del FLEXPART

- 1 *Se alimentó con datos del reanálisis ERA-40/Interim del ECMWF.*
- 2 *La resolución temporal fue de 6h y la espacial de $1^\circ \times 1^\circ$, con 61 niveles en la vertical, de 0.1 a 1000 hPa (con ~ 14 niveles por debajo de 1500m y ~ 23 entre 1500m y 5000m).*
- 3 *Se utilizó dos periodos de análisis, uno de 21 años (1980-2000) y el otro de 33 años (1980-2012).*
- 4 *La atmósfera se dividió homogéneamente en un número grande de "partículas" (1.9 y 2.0 millones) con una masa constante (m).*
- 5 *Las partículas fueron advectadas usando el campo de velocidad tridimensional del reanálisis, con movimientos turbulentos estocásticos y convectivos superpuestos.*
- 6 *Las trayectorias fueron calculadas con un límite de tiempo de transporte de 10 días y los datos (q, pos, t) de las partículas fueron almacenadas cada 6h.*

Modelo FLEXPART

Configuración del FLEXPART

- 1 *Se alimentó con datos del reanálisis ERA-40/Interim del ECMWF.*
- 2 *La resolución temporal fue de 6h y la espacial de $1^\circ \times 1^\circ$, con 61 niveles en la vertical, de 0.1 a 1000 hPa (con ~ 14 niveles por debajo de 1500m y ~ 23 entre 1500m y 5000m).*
- 3 *Se utilizó dos periodos de análisis, uno de 21 años (1980-2000) y el otro de 33 años (1980-2012).*
- 4 *La atmósfera se dividió homogéneamente en un número grande de "partículas" (1.9 y 2.0 millones) con una masa constante (m).*
- 5 *Las partículas fueron advectadas usando el campo de velocidad tridimensional del reanálisis, con movimientos turbulentos estocásticos y convectivos superpuestos.*
- 6 *Las trayectorias fueron calculadas con un límite de tiempo de transporte de 10 días y los datos (q, pos, t) de las partículas fueron almacenadas cada 6h.*

Modelo FLEXPART

Configuración del FLEXPART

- 1 *Se alimentó con datos del reanálisis ERA-40/Interim del ECMWF.*
- 2 *La resolución temporal fue de 6h y la espacial de $1^\circ \times 1^\circ$, con 61 niveles en la vertical, de 0.1 a 1000 hPa (con ~ 14 niveles por debajo de 1500m y ~ 23 entre 1500m y 5000m).*
- 3 *Se utilizó dos periodos de análisis, uno de 21 años (1980-2000) y el otro de 33 años (1980-2012).*
- 4 *La atmósfera se dividió homogéneamente en un número grande de "partículas" (1.9 y 2.0 millones) con una masa constante (m).*
- 5 *Las partículas fueron advectadas usando el campo de velocidad tridimensional del reanálisis, con movimientos turbulentos estocásticos y convectivos superpuestos.*
- 6 *Las trayectorias fueron calculadas con un límite de tiempo de transporte de 10 días y los datos (q, pos, t) de las partículas fueron almacenadas cada 6h.*

Modelo FLEXPART

Configuración del FLEXPART

- 1 *Se alimentó con datos del reanálisis ERA-40/Interim del ECMWF.*
- 2 *La resolución temporal fue de 6h y la espacial de $1^\circ \times 1^\circ$, con 61 niveles en la vertical, de 0.1 a 1000 hPa (con ~ 14 niveles por debajo de 1500m y ~ 23 entre 1500m y 5000m).*
- 3 *Se utilizó dos periodos de análisis, uno de 21 años (1980-2000) y el otro de 33 años (1980-2012).*
- 4 *La atmósfera se dividió homogéneamente en un número grande de "partículas" (1.9 y 2.0 millones) con una masa constante (m).*
- 5 *Las partículas fueron advectadas usando el campo de velocidad tridimensional del reanálisis, con movimientos turbulentos estocásticos y convectivos superpuestos.*
- 6 *Las trayectorias fueron calculadas con un límite de tiempo de transporte de 10 días y los datos (q, pos, t) de las partículas fueron almacenadas cada 6h.*

Modelo FLEXPART

Configuración del FLEXPART

- 1 *Se alimentó con datos del reanálisis ERA-40/Interim del ECMWF.*
- 2 *La resolución temporal fue de 6h y la espacial de $1^\circ \times 1^\circ$, con 61 niveles en la vertical, de 0.1 a 1000 hPa (con ~ 14 niveles por debajo de 1500m y ~ 23 entre 1500m y 5000m).*
- 3 *Se utilizó dos periodos de análisis, uno de 21 años (1980-2000) y el otro de 33 años (1980-2012).*
- 4 *La atmósfera se dividió homogéneamente en un número grande de "partículas" (1.9 y 2.0 millones) con una masa constante (m).*
- 5 *Las partículas fueron advectadas usando el campo de velocidad tridimensional del reanálisis, con movimientos turbulentos estocásticos y convectivos superpuestos.*
- 6 *Las trayectorias fueron calculadas con un límite de tiempo de transporte de 10 días y los datos (q, pos, t) de las partículas fueron almacenadas cada 6h.*

Técnica de “composites”

Representación Matemática

Los “composites” son una herramienta muy conveniente para ser utilizada en la construcción de una estimación del estado promedio de una variable condicionada por el valor de un índice externo

$$\hat{X}_\Gamma = \frac{1}{i} \sum_{j=1}^i x_{tj} \quad (7)$$

Para dotar de significatividad estadística a las señales obtenidas se aplicó la prueba conocida como “bootstrap”, buscando siempre el nivel de confianza del 90 % permutando la serie 1000 veces.

Resultados

- 1 **Castillo, R., Nieto, R., Drumond, A. & Gimeno, L. (2014): Estimating the temporal domain when the discount of the net evaporation term affects the resulting net precipitation pattern in the moisture budget using a 3-D Lagrangian approach. *PLoS ONE*, 9(6):e99046, doi:10.1371/journal.pone.0099046.**
- 2 Gimeno, L., Nieto, R., Drumond, A., Castillo, R., & Trigo, R. (2013): Influence of the intensification of the major oceanic moisture sources on continental precipitation. *Geophys. Res. Lett.*, 40(7):1443–1450, doi:10.1002/grl.50338.
- 3 Castillo, R., Nieto, R., Drumond, A. & Gimeno, L. (2014): The role of the ENSO cycle in the modulation of moisture transport from major oceanic moisture sources. *Water Resour. Res.*, 50(2):1046–1058, doi:10.1002/2013WR013900.
- 4 Nieto, R., Castillo, R. & Drumond, A. (2014): The modulation of oceanic moisture transport by the hemispheric annular modes. *Front. Earth Sci.*, 2(11), doi:10.3389/feart.2014.00011.
- 5 Nieto, R., Castillo, R., Drumond, A. & Gimeno, L. (2014): A catalog of moisture sources for continental climatic regions. *Water Resour. Res.*, 50(6):5322–5328, doi:10.1002/2013WR013901.

Resultados

- ① **Castillo, R., Nieto, R., Drumond, A. & Gimeno, L. (2014): Estimating the temporal domain when the discount of the net evaporation term affects the resulting net precipitation pattern in the moisture budget using a 3-D Lagrangian approach. *PLoS ONE*, 9(6):e99046, doi:10.1371/journal.pone.0099046.**
- ② **Gimeno, L., Nieto, R., Drumond, A., Castillo, R., & Trigo, R. (2013): Influence of the intensification of the major oceanic moisture sources on continental precipitation. *Geophys. Res. Lett.*, 40(7):1443–1450, doi:10.1002/grl.50338.**
- ③ Castillo, R., Nieto, R., Drumond, A. & Gimeno, L. (2014): The role of the ENSO cycle in the modulation of moisture transport from major oceanic moisture sources. *Water Resour. Res.*, 50(2):1046–1058, doi:10.1002/2013WR013900.
- ④ Nieto, R., Castillo, R. & Drumond, A. (2014): The modulation of oceanic moisture transport by the hemispheric annular modes. *Front. Earth Sci.*, 2(11), doi:10.3389/feart.2014.00011.
- ⑤ Nieto, R., Castillo, R., Drumond, A. & Gimeno, L. (2014): A catalog of moisture sources for continental climatic regions. *Water Resour. Res.*, 50(6):5322–5328, doi:10.1002/2013WR013901.

Resultados

- 1 **Castillo, R., Nieto, R., Drumond, A. & Gimeno, L. (2014): Estimating the temporal domain when the discount of the net evaporation term affects the resulting net precipitation pattern in the moisture budget using a 3-D Lagrangian approach. *PLoS ONE*, 9(6):e99046, doi:10.1371/journal.pone.0099046.**
- 2 **Gimeno, L., Nieto, R., Drumond, A., Castillo, R., & Trigo, R. (2013): Influence of the intensification of the major oceanic moisture sources on continental precipitation. *Geophys. Res. Lett.*, 40(7):1443–1450, doi:10.1002/grl.50338.**
- 3 **Castillo, R., Nieto, R., Drumond, A. & Gimeno, L. (2014): The role of the ENSO cycle in the modulation of moisture transport from major oceanic moisture sources. *Water Resour. Res.*, 50(2):1046–1058, doi:10.1002/2013WR013900.**
- 4 *Nieto, R., Castillo, R. & Drumond, A. (2014): The modulation of oceanic moisture transport by the hemispheric annular modes. *Front. Earth Sci.*, 2(11), doi:10.3389/feart.2014.00011.*
- 5 *Nieto, R., Castillo, R., Drumond, A. & Gimeno, L. (2014): A catalog of moisture sources for continental climatic regions. *Water Resour. Res.*, 50(6):5322–5328, doi:10.1002/2013WR013901.*

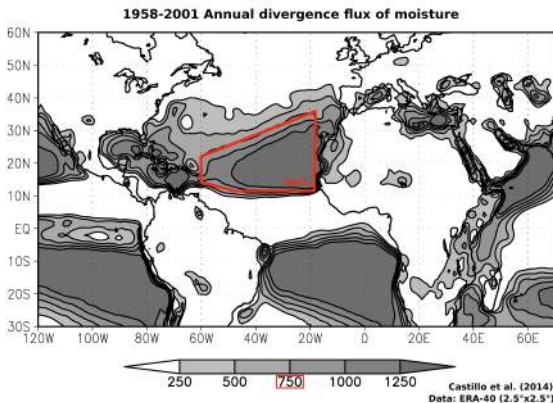
Resultados

- 1 **Castillo, R., Nieto, R., Drumond, A. & Gimeno, L. (2014): Estimating the temporal domain when the discount of the net evaporation term affects the resulting net precipitation pattern in the moisture budget using a 3-D Lagrangian approach. *PLoS ONE*, 9(6):e99046, doi:10.1371/journal.pone.0099046.**
- 2 **Gimeno, L., Nieto, R., Drumond, A., Castillo, R., & Trigo, R. (2013): Influence of the intensification of the major oceanic moisture sources on continental precipitation. *Geophys. Res. Lett.*, 40(7):1443–1450, doi:10.1002/grl.50338.**
- 3 **Castillo, R., Nieto, R., Drumond, A. & Gimeno, L. (2014): The role of the ENSO cycle in the modulation of moisture transport from major oceanic moisture sources. *Water Resour. Res.*, 50(2):1046–1058, doi:10.1002/2013WR013900.**
- 4 **Nieto, R., Castillo, R. & Drumond, A. (2014): The modulation of oceanic moisture transport by the hemispheric annular modes. *Front. Earth Sci.*, 2(11), doi:10.3389/feart.2014.00011.**
- 5 **Nieto, R., Castillo, R., Drumond, A. & Gimeno, L. (2014): A catalog of moisture sources for continental climatic regions. *Water Resour. Res.*, 50(6):5322–5328, doi:10.1002/2013WR013901.**

Resultados

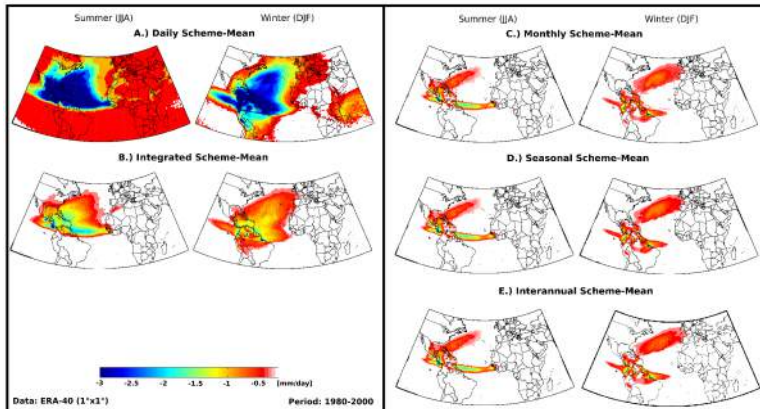
- ① **Castillo, R., Nieto, R., Drumond, A. & Gimeno, L. (2014): Estimating the temporal domain when the discount of the net evaporation term affects the resulting net precipitation pattern in the moisture budget using a 3-D Lagrangian approach. *PLoS ONE*, 9(6):e99046, doi:10.1371/journal.pone.0099046.**
- ② **Gimeno, L., Nieto, R., Drumond, A., Castillo, R., & Trigo, R. (2013): Influence of the intensification of the major oceanic moisture sources on continental precipitation. *Geophys. Res. Lett.*, 40(7):1443–1450, doi:10.1002/grl.50338.**
- ③ **Castillo, R., Nieto, R., Drumond, A. & Gimeno, L. (2014): The role of the ENSO cycle in the modulation of moisture transport from major oceanic moisture sources. *Water Resour. Res.*, 50(2):1046–1058, doi:10.1002/2013WR013900.**
- ④ **Nieto, R., Castillo, R. & Drumond, A. (2014): The modulation of oceanic moisture transport by the hemispheric annular modes. *Front. Earth Sci.*, 2(11), doi:10.3389/feart.2014.00011.**
- ⑤ **Nieto, R., Castillo, R., Drumond, A. & Gimeno, L. (2014): A catalog of moisture sources for continental climatic regions. *Water Resour. Res.*, 50(6):5322–5328, doi:10.1002/2013WR013901.**

Dominio temporal mínimo para la estimación de la precipitación ($E - P < 0$) asociada a una fuente



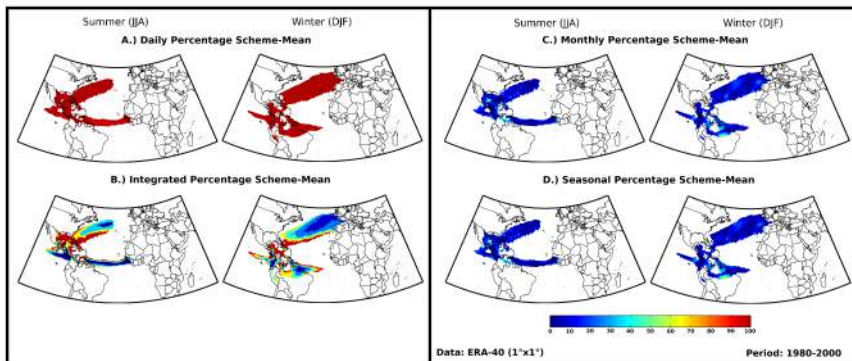
Dominio temporal mínimo para la estimación de la precipitación ($E - P < 0$) asociada a una fuente

Patrones de distribución de precipitación



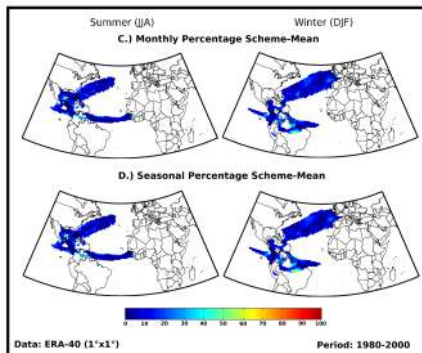
Dominio temporal mínimo para la estimación de la precipitación ($E - P < 0$) asociada a una fuente

Porcentajes de error en referencia al patrón climatológico

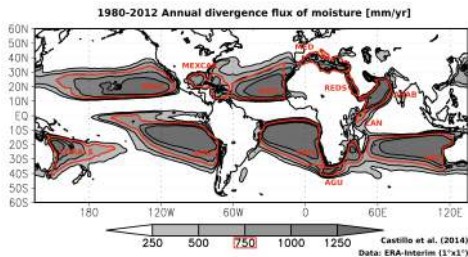


Dominio temporal mínimo para la estimación de la precipitación ($E - P < 0$) asociada a una fuente

El término de evaporación ($E - P > 0$) puede ser eliminado después de que ($E - P$) ha sido integrado utilizando escalas de tiempo mensual o mayores, debido a que de este modo no se alteran los patrones generales de precipitación ($E - P < 0$).



Distribución de la precipitación continental

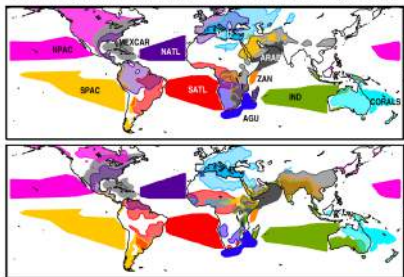


- 1 NPAC, Pacífico Norte
- 2 SPAC, Pacífico Sur
- 3 NATL, Atlántico Norte
- 4 SATL, Atlántico Sur
- 5 MEXCAR, Golfo de México-Mar Caribe
- 6 ARAB, Mar de Arabia
- 7 ZAN, Corriente de Zanzíbar
- 8 AGU, Corriente de Agulhas
- 9 IND, Océano Índico
- 10 CORALS, Mar de Coral
- 11 MED, Mar Mediterráneo
- 12 REDS, Mar Rojo

Distribución de la precipitación continental

- La fuente **NATL** es la fuente dominante, especialmente sobre DJF, sin embargo su influencia sobre Euroasia desvanece durante JJA.
- Existen pequeñas fuentes que proporcionan cantidades desproporcionadas de humedad en relación a su tamaño (**MED** y **REDS**).
- Hay un transporte significativo interhemisférico, desde el Atlántico durante DJF y desde el Índico durante JJA.

Schematic representation of moisture source and continental receptor regions

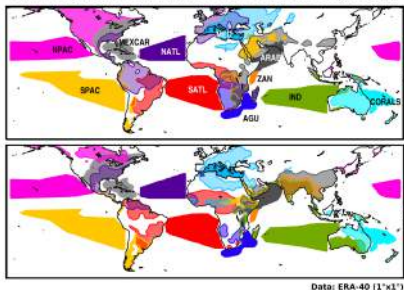


Data: ERA-40 (1°x1°)

Distribución de la precipitación continental

- La fuente **NATL** es la fuente dominante, especialmente sobre DJF, sin embargo su influencia sobre Euroasia desvanece durante JJA.
- Existen pequeñas fuentes que proporcionan cantidades desproporcionadas de humedad en relación a su tamaño (**MED** y **REDS**).
- Hay un transporte significativo interhemisférico, desde el Atlántico durante DJF y desde el Índico durante JJA.

Schematic representation of moisture source and continental receptor regions

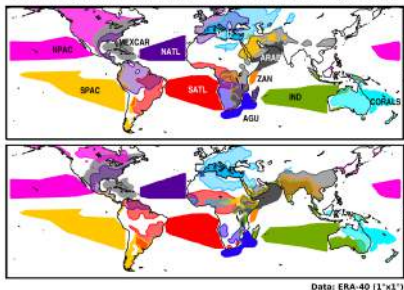


Data: ERA-40 (1°x1°)

Distribución de la precipitación continental

- La fuente **NATL** es la fuente dominante, especialmente sobre DJF, sin embargo su influencia sobre Euroasia desvanece durante JJA.
- Existen pequeñas fuentes que proporcionan cantidades desproporcionadas de humedad en relación a su tamaño (**MED** y **REDS**).
- Hay un transporte significativo interhemisférico, desde el Atlántico durante DJF y desde el Índico durante JJA.

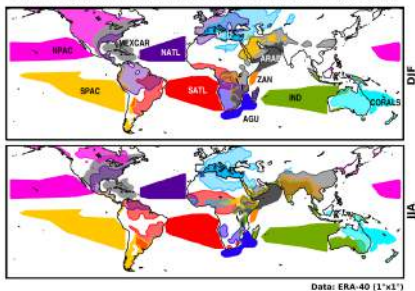
Schematic representation of moisture source and continental receptor regions



Distribución de la precipitación continental

- Estas fuentes oceánicas no contribuyen directamente a la precipitación sobre grandes áreas continentales, incluyendo la mayoría de las regiones áridas del interior, aunque pueden hacerlo posteriormente a través del “recycling” local.
- Existen grandes regiones que reciben humedad mayoritariamente desde una sola fuente (Europa, América del Sur o Australia); mientras que hay otras que son alimentadas por varias fuentes (sistemas monzónicos de la India, el África tropical y América del Norte).

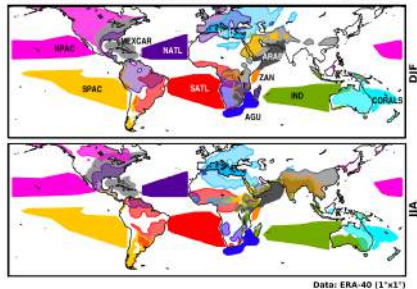
Schematic representation of moisture source and continental receptor regions



Distribución de la precipitación continental

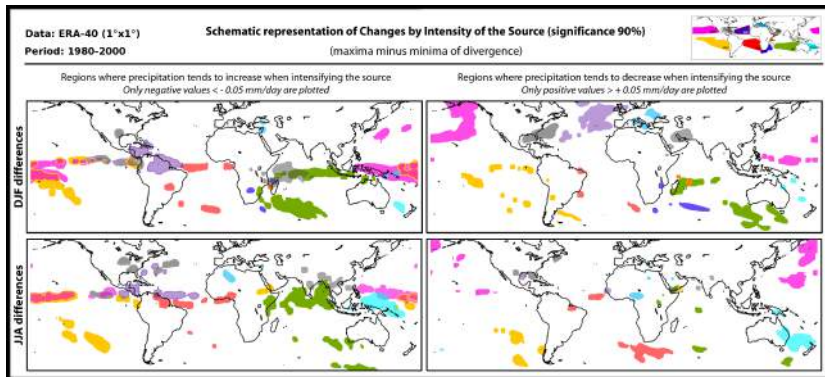
- Estas fuentes oceánicas no contribuyen directamente a la precipitación sobre grandes áreas continentales, incluyendo la mayoría de las regiones áridas del interior, aunque pueden hacerlo posteriormente a través del “recycling” local.
- Existen grandes regiones que reciben humedad mayoritariamente desde una sola fuente (Europa, América del Sur o Australia); mientras que hay otras que son alimentadas por varias fuentes (sistemas monzónicos de la India, el África tropical y América del Norte).

Schematic representation of moisture source and continental receptor regions

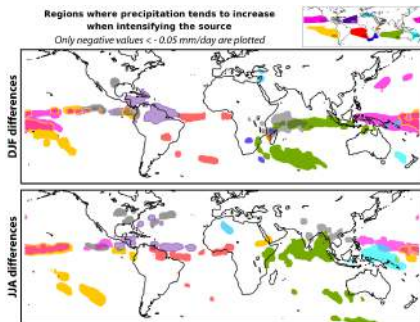


Intensificación de las principales fuentes de humedad

Diferencias en ($E - P < 0$) entre el promedio de los **cinco** episodios de mayor y menor intensidad.

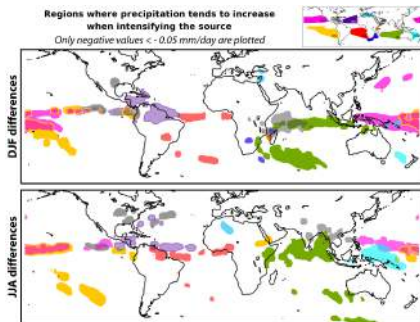


Intensificación de las principales fuentes de humedad



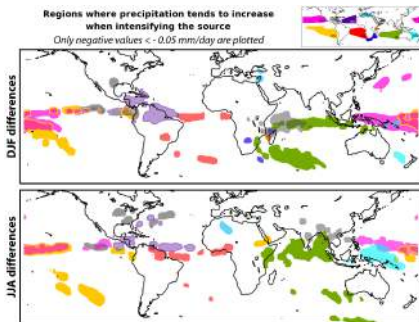
- En ambas estaciones del año la precipitación tiende a aumentar a lo largo de la banda tropical cuando las fuentes se intensifican.
- El aumento de las precipitaciones asociadas con circulaciones monzónicas más intensas es evidente durante DJF para el monzón de América del Sur.
- Se evidencia el papel del incremento del transporte de humedad desde el Mar de Arabia en la intensificación de la precipitación asociada con los monzones de verano de Asia y de la India.

Intensificación de las principales fuentes de humedad



- En ambas estaciones del año la precipitación tiende a aumentar a lo largo de la banda tropical cuando las fuentes se intensifican.
- El aumento de las precipitaciones asociadas con circulaciones monzónicas más intensas es evidente durante DJF para el monzón de América del Sur.
- Se evidencia el papel del incremento del transporte de humedad desde el Mar de Arabia en la intensificación de la precipitación asociada con los monzones de verano de Asia y de la India.

Intensificación de las principales fuentes de humedad



- En ambas estaciones del año la precipitación tiende a aumentar a lo largo de la banda tropical cuando las fuentes se intensifican.
- El aumento de las precipitaciones asociadas con circulaciones monzónicas más intensas es evidente durante DJF para el monzón de América del Sur.
- Se evidencia el papel del incremento del transporte de humedad desde el Mar de Arabia en la intensificación de la precipitación asociada con los monzones de verano de Asia y de la India.

Papel de los principales modos de variabilidad climática

Índices climáticos

- 1 *Para analizar la influencia de la fluctuación natural más fuerte del clima que ocurre en escalas interanuales (**ENSO**), se utilizó el índice ONI de NOAA/CPC en la región Niño 3.4 (Smith et al., 2008), calculando las diferencias de los “composites” de los 8 episodios de mayor intensidad de El Niño y La Niña.*
- 2 *Para analizar la influencia de los patrones más importantes de la variabilidad climática del hemisferio Norte y Sur (**NAM** y **SAM**), se utilizaron los índices NAMI y SAMI de Li & Wang (2003) y de Nan & Li (2003), respectivamente, calculando las diferencias de los “composites” de los 6 episodios con índice más alto y bajo de los modos.*

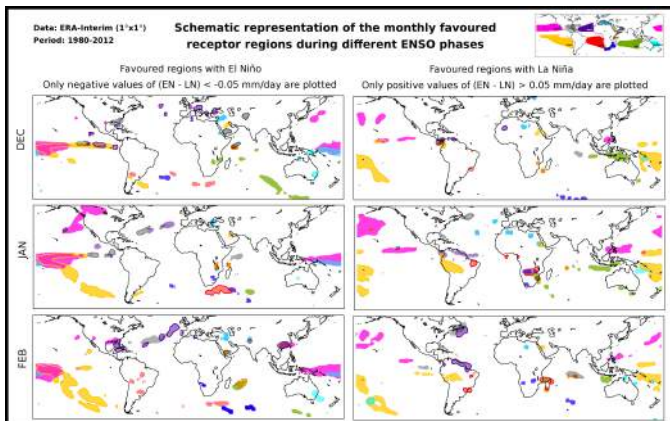
Papel de los principales modos de variabilidad climática

Índices climáticos

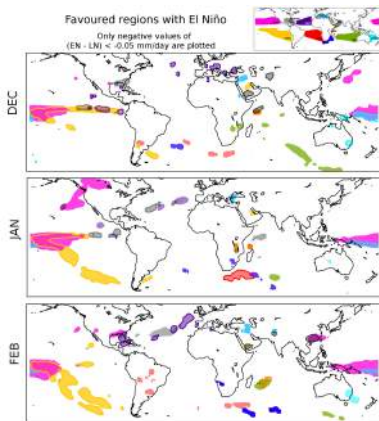
- 1 *Para analizar la influencia de la fluctuación natural más fuerte del clima que ocurre en escalas interanuales ([ENSO](#)), se utilizó el índice ONI de NOAA/CPC en la región Niño 3.4 (Smith et al., 2008), calculando las diferencias de los “composites” de los 8 episodios de mayor intensidad de El Niño y La Niña.*
- 2 *Para analizar la influencia de los patrones más importantes de la variabilidad climática del hemisferio Norte y Sur ([NAM](#) y [SAM](#)), se utilizaron los índices NAMI y SAMI de Li & Wang (2003) y de Nan & Li (2003), respectivamente, calculando las diferencias de los “composites” de los 6 episodios con índice más alto y bajo de los modos.*

El Niño-Oscilación del Sur (Fase madura)

Diferencias en ($E - P < 0$) entre el promedio de los **ocho** episodios de mayor intensidad de El Niño y La Niña.

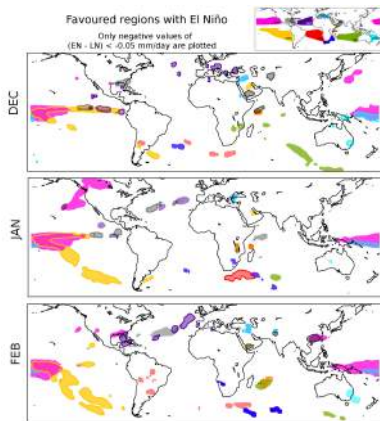


El Niño-Oscilación del Sur (Fase madura - El Niño)



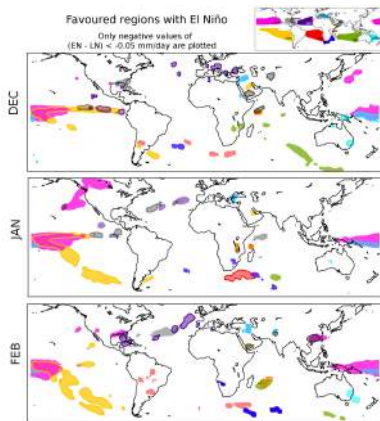
- Se incrementan las contribuciones de humedad desde las fuentes del **SPAC**, **NPAC**, **MEXCAR** y **CORALS** hacia el Pacífico ecuatorial.
- Las zonas subtropicales reciben más humedad de las fuentes más cercanas, por ejemplo, el sur de América del Norte desde las fuentes del **NPAC**, **NATL** y **MEXCAR**, América del Sur desde **SATL** y **SPAC**, o el África meridional desde **IND**, **AGU** y **ZAN**.
- Existe un aumento de precipitación en el Océano Índico Occidental asociado con un mayor aporte de humedad de las fuentes **IND**, **ZAN** y **ARAB**.

El Niño-Oscilación del Sur (Fase madura - El Niño)



- Se incrementan las contribuciones de humedad desde las fuentes del **SPAC**, **NPAC**, **MEXCAR** y **CORALS** hacia el Pacífico ecuatorial.
- Las zonas subtropicales reciben más humedad de las fuentes más cercanas, por ejemplo, el sur de América del Norte desde las fuentes del **NPAC**, **NATL** y **MEXCAR**, América del Sur desde **SATL** y **SPAC**, o el África meridional desde **IND**, **AGU** y **ZAN**.
- Existe un aumento de precipitación en el Océano Índico Occidental asociado con un mayor aporte de humedad de las fuentes **IND**, **ZAN** y **ARAB**.

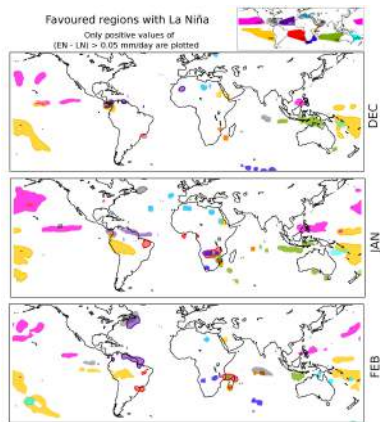
El Niño-Oscilación del Sur (Fase madura - El Niño)



- Se incrementan las contribuciones de humedad desde las fuentes del **SPAC**, **NPAC**, **MEXCAR** y **CORALS** hacia el Pacífico ecuatorial.
- Las zonas subtropicales reciben más humedad de las fuentes más cercanas, por ejemplo, el sur de América del Norte desde las fuentes del **NPAC**, **NATL** y **MEXCAR**, América del Sur desde **SATL** y **SPAC**, o el África meridional desde **IND**, **AGU** y **ZAN**.
- Existe un aumento de precipitación en el Océano Índico Occidental asociado con un mayor aporte de humedad de las fuentes **IND**, **ZAN** y **ARAB**.

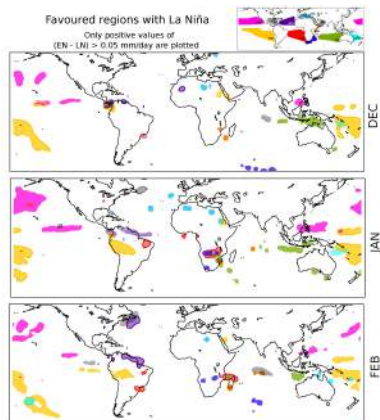
El Niño-Oscilación del Sur (Fase madura - La Niña)

- Las fuentes del **IND**, **NPAC**, **SPAC** y **CORALS** son las que contribuyen más al incremento de humedad hacia la región del “warm pool” del Océano Índico y Pacífico Occidental.
- La precipitación asociada al sistema monzónico de América del Sur se incrementa por la intensificación del transporte de humedad desde las fuentes del **NATL**, **SATL** y **SPAC**.
- La región del sur de África actúa como sumidero para la humedad procedente de las fuentes de **SATL**, **IND**, **ZAN** y **AGU**.



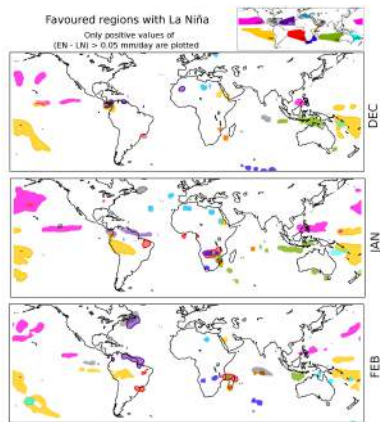
El Niño-Oscilación del Sur (Fase madura - La Niña)

- Las fuentes del **IND**, **NPAC**, **SPAC** y **CORALS** son las que contribuyen más al incremento de humedad hacia la región del “warm pool” del Océano Índico y Pacífico Occidental.
- La precipitación asociada al sistema monzónico de América del Sur se incrementa por la intensificación del transporte de humedad desde las fuentes del **NATL**, **SATL** y **SPAC**.
- La región del sur de África actúa como sumidero para la humedad procedente de las fuentes de **SATL**, **IND**, **ZAN** y **AGU**.



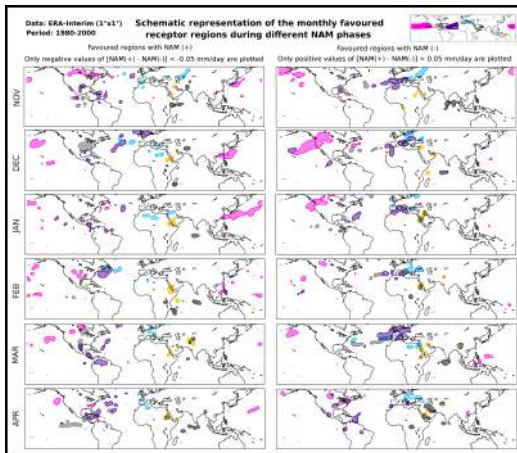
El Niño-Oscilación del Sur (Fase madura - La Niña)

- Las fuentes del **IND**, **NPAC**, **SPAC** y **CORALS** son las que contribuyen más al incremento de humedad hacia la región del “warm pool” del Océano Índico y Pacífico Occidental.
- La precipitación asociada al sistema monzónico de América del Sur se incrementa por la intensificación del transporte de humedad desde las fuentes del **NATL**, **SATL** y **SPAC**.
- La región del sur de África actúa como sumidero para la humedad procedente de las fuentes de **SATL**, **IND**, **ZAN** y **AGU**.

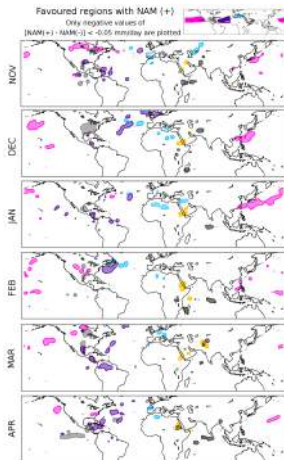


Modo Anular del Norte (NAM)

Diferencias en ($E - P < 0$) entre el promedio de los **seis** episodios con índice más alto y bajo del modo.

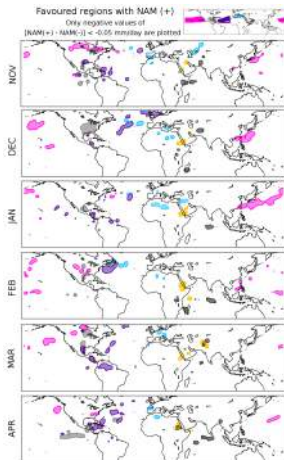


Modo Anular del Norte (NAM - Fase positiva)



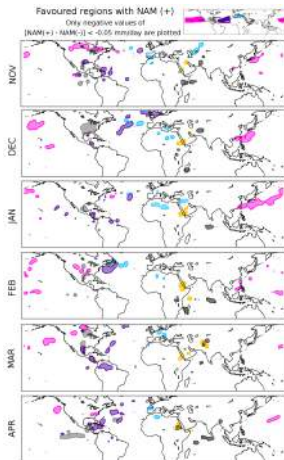
- Se espera una intensificación de las altas presiones en el Pacífico y, por lo tanto, el transporte de humedad desde **NPAC** se ve favorecido hacia el este de Asia.
- La humedad es transportada hacia el Norte a través de Europa y, por lo tanto, pueden ocurrir eventos de sequías en la parte sur del continente europeo.
- La intensificación de las altas presiones del Atlántico y de los vientos alisios provocan un incremento en el transporte de humedad desde las fuentes **NATL** y **MEXCAR** hacia la región del Mar Caribe.

Modo Anular del Norte (NAM - Fase positiva)



- Se espera una intensificación de las altas presiones en el Pacífico y, por lo tanto, el transporte de humedad desde **NPAC** se ve favorecido hacia el este de Asia.
- La humedad es transportada hacia el Norte a través de Europa y, por lo tanto, pueden ocurrir eventos de sequías en la parte sur del continente europeo.
- La intensificación de las altas presiones del Atlántico y de los vientos alisios provocan un incremento en el transporte de humedad desde las fuentes **NATL** y **MEXCAR** hacia la región del Mar Caribe.

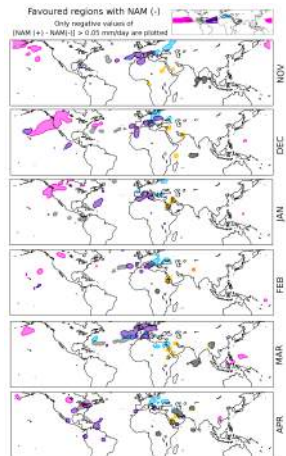
Modo Anular del Norte (NAM - Fase positiva)



- Se espera una intensificación de las altas presiones en el Pacífico y, por lo tanto, el transporte de humedad desde **NPAC** se ve favorecido hacia el este de Asia.
- La humedad es transportada hacia el Norte a través de Europa y, por lo tanto, pueden ocurrir eventos de sequías en la parte sur del continente europeo.
- La intensificación de las altas presiones del Atlántico y de los vientos alisios provocan un incremento en el transporte de humedad desde las fuentes **NATL** y **MEXCAR** hacia la región del Mar Caribe.

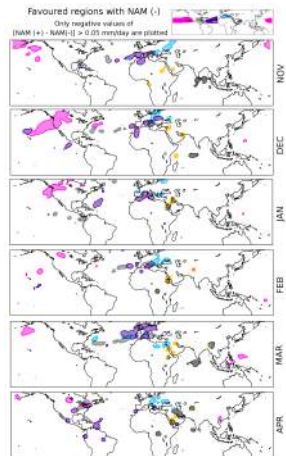
Modo Anular del Norte (NAM - Fase negativa)

- El debilitamiento de las altas presiones del Pacífico y los vientos del oeste en latitudes polares provocan un incremento en el transporte de humedad desde la fuente **NPAC** hacia el noreste de la propia cuenca oceánica.
- Se incrementa el transporte de humedad desde las fuentes del **NATL**, **MEXCAR** y **MED** hacia el sur de Europa y la cuenca mediterránea.
- Esta fase se asocia con un debilitamiento en el transporte de humedad que genera precipitación desde las fuentes del **NATL** y **MEXCAR** en América Central y del Norte.



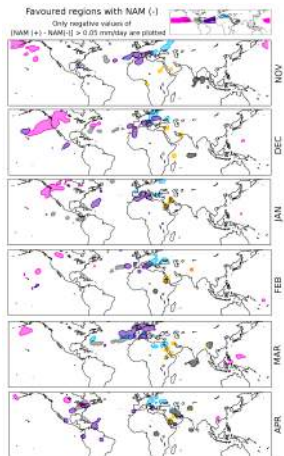
Modo Anular del Norte (NAM - Fase negativa)

- El debilitamiento de las altas presiones del Pacífico y los vientos del oeste en latitudes polares provocan un incremento en el transporte de humedad desde la fuente **NPAC** hacia el noreste de la propia cuenca oceánica.
- Se incrementa el transporte de humedad desde las fuentes del **NATL**, **MEXCAR** y **MED** hacia el sur de Europa y la cuenca mediterránea.
- Esta fase se asocia con un debilitamiento en el transporte de humedad que genera precipitación desde las fuentes del **NATL** y **MEXCAR** en América Central y del Norte.



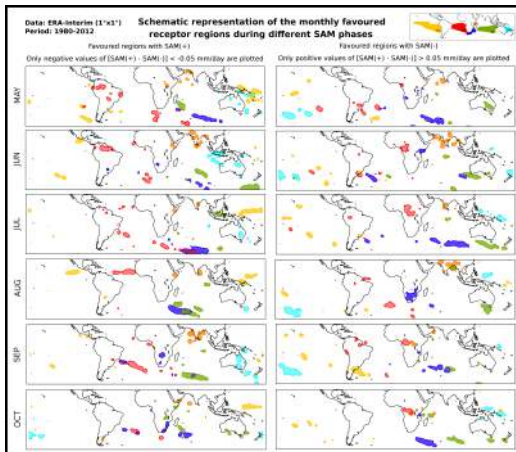
Modo Anular del Norte (NAM - Fase negativa)

- El debilitamiento de las altas presiones del Pacífico y los vientos del oeste en latitudes polares provocan un incremento en el transporte de humedad desde la fuente **NPAC** hacia el noreste de la propia cuenca oceánica.
- Se incrementa el transporte de humedad desde las fuentes del **NATL**, **MEXCAR** y **MED** hacia el sur de Europa y la cuenca mediterránea.
- Esta fase se asocia con un debilitamiento en el transporte de humedad que genera precipitación desde las fuentes del **NATL** y **MEXCAR** en América Central y del Norte.

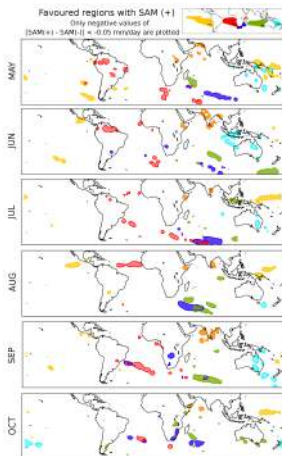


Modo Anular del Sur (SAM)

Diferencias en ($E - P < 0$) entre el promedio de los **seis** episodios con índice más alto y bajo del modo.

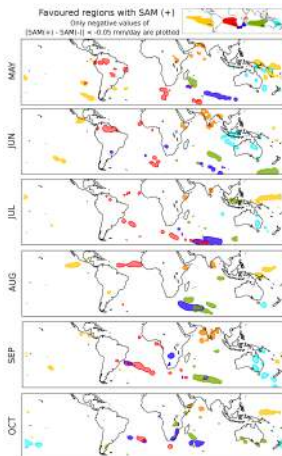


Modo Anular del Sur (SAM - Fase positiva)



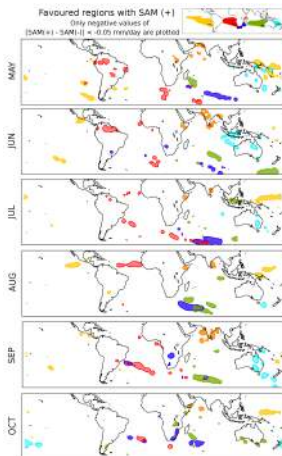
- La humedad es transportada más hacia el sur y al este desde las fuentes de **AGU**, **IND** y **SATL**. Apareciendo en la cuenca del Océano Índico una banda horizontal de precipitación con humedad originaria de la fuente **AGU**, y pequeñas áreas con origen en la fuente **IND**.
- Se incrementa sobre Australia el aporte de humedad desde la fuente **CORALS** durante los meses finales del periodo de estudio.
- Esta fase se caracteriza por un incremento en la precipitación sobre la región del "warm pool" del Océano Índico y Pacífico Occidental desde las fuentes de **CORALS** y **SPAC**.

Modo Anular del Sur (SAM - Fase positiva)



- La humedad es transportada más hacia el sur y al este desde las fuentes de **AGU**, **IND** y **SATL**. Apareciendo en la cuenca del Océano Índico una banda horizontal de precipitación con humedad originaria de la fuente **AGU**, y pequeñas áreas con origen en la fuente **IND**.
- Se incrementa sobre Australia el aporte de humedad desde la fuente **CORALS** durante los meses finales del periodo de estudio.
- Esta fase se caracteriza por un incremento en la precipitación sobre la región del "warm pool" del Océano Índico y Pacífico Occidental desde las fuentes de **CORALS** y **SPAC**.

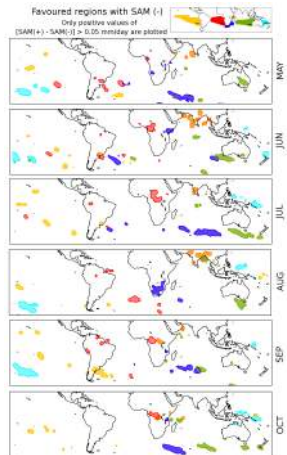
Modo Anular del Sur (SAM - Fase positiva)



- La humedad es transportada más hacia el sur y al este desde las fuentes de **AGU**, **IND** y **SATL**. Apareciendo en la cuenca del Océano Índico una banda horizontal de precipitación con humedad originaria de la fuente **AGU**, y pequeñas áreas con origen en la fuente **IND**.
- Se incrementa sobre Australia el aporte de humedad desde la fuente **CORALS** durante los meses finales del periodo de estudio.
- Esta fase se caracteriza por un incremento en la precipitación sobre la región del “warm pool” del Océano Índico y Pacífico Occidental desde las fuentes de **CORALS** y **SPAC**.

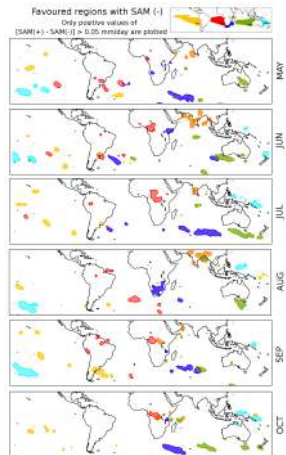
Modo Anular del Sur (NAM - Fase negativa)

- Se mantiene el patrón de transporte de humedad hacia el sur y al este desde las fuentes de **AGU**, **IND** y **SATL** pero con menor fuerza que durante la fase positiva.
- El sureste de América del Sur recibe más humedad de las fuentes **SATL**, **AGU** y **SPAC**. Estos resultados concuerdan con el movimiento de los ciclones hacia el norte durante esta fase de SAM.
- El debilitamiento de los vientos del oeste y de los vientos alisios favorece la llegada de humedad desde **SATL** durante el monzón en África.



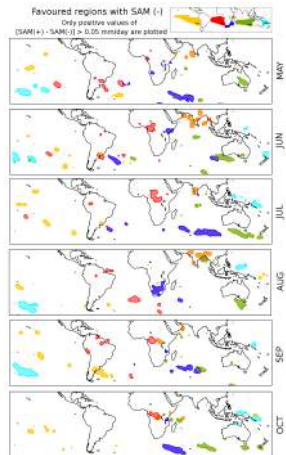
Modo Anular del Sur (NAM - Fase negativa)

- Se mantiene el patrón de transporte de humedad hacia el sur y al este desde las fuentes de **AGU**, **IND** y **SATL** pero con menor fuerza que durante la fase positiva.
- El sureste de América del Sur recibe más humedad de las fuentes **SATL**, **AGU** y **SPAC**. Estos resultados concuerdan con el movimiento de los ciclones hacia el norte durante esta fase de SAM.
- El debilitamiento de los vientos del oeste y de los vientos alisios favorece la llegada de humedad desde **SATL** durante el monzón en África.



Modo Anular del Sur (NAM - Fase negativa)

- Se mantiene el patrón de transporte de humedad hacia el sur y al este desde las fuentes de **AGU**, **IND** y **SATL** pero con menor fuerza que durante la fase positiva.
- El sureste de América del Sur recibe más humedad de las fuentes **SATL**, **AGU** y **SPAC**. Estos resultados concuerdan con el movimiento de los ciclones hacia el norte durante esta fase de SAM.
- El debilitamiento de los vientos del oeste y de los vientos alisios favorece la llegada de humedad desde **SATL** durante el monzón en África.



Fuentes de precipitación vinculadas al cambio climático

Regiones oceánicas “hot spot”

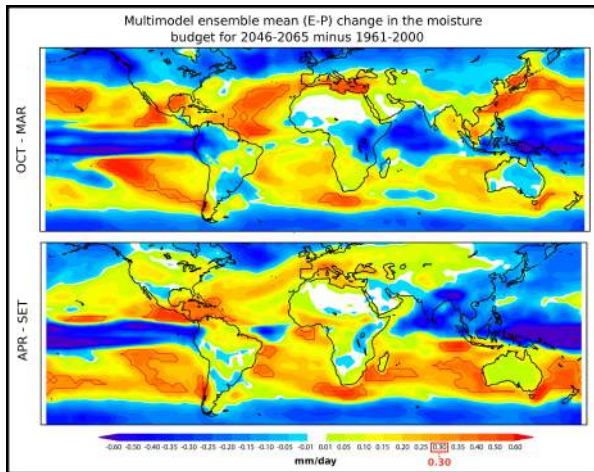
- *Las regiones fueron definidas por Seager et al. (2010) comparando las medidas de humedad para el período 1961-2000 en intervalos semestrales de octubre-marzo y abril-septiembre con aquellas estimadas para el período 2046-2065 usando datos generados por 15 GCM incluidos en la fase 3 del proyecto del modelo de intercomparación acoplado utilizado por el IPCC AR4.*
- *Estas fuentes evaporativas oceánicas (HSSRs), que exceden el umbral de 0.3 mm/día, identifican aquellas áreas en el océano que muestran un mayor cambio en evaporación menos precipitación ante un escenario de cambio climático futuro.*

Fuentes de precipitación vinculadas al cambio climático

Regiones oceánicas “hot spot”

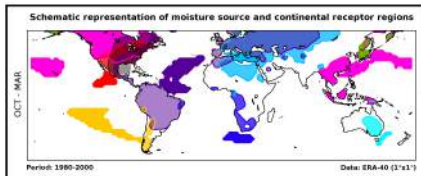
- Las regiones fueron definidas por Seager et al. (2010) comparando las medidas de humedad para el período 1961-2000 en intervalos semestrales de octubre-marzo y abril-septiembre con aquellas estimadas para el período 2046-2065 usando datos generados por 15 GCM incluidos en la fase 3 del proyecto del modelo de intercomparación acoplado utilizado por el IPCC AR4.
- Estas fuentes evaporativas oceánicas (HSSRs), que exceden el umbral de 0.3 mm/día, identifican aquellas áreas en el océano que muestran un mayor cambio en evaporación menos precipitación ante un escenario de cambio climático futuro.

Fuentes de precipitación vinculadas al cambio climático

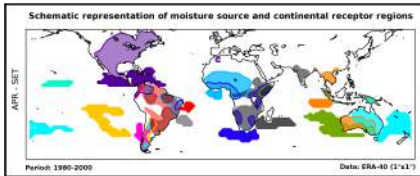


Fuentes de precipitación vinculadas al cambio climático

Invierno boreal



Verano boreal

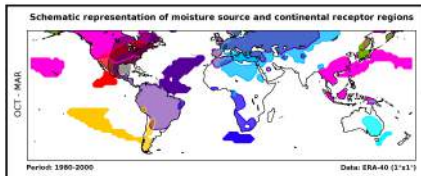


- Dos HSSRs tienen una influencia más amplia que las demás, la situada en el centro del Atlántico Norte y la otra en el oeste subtropical del Pacífico Norte.
- La HSSR situada en el Mediterráneo, tiene una fuerte influencia sobre la precipitación en Europa.
- América del Norte es la región continental más afectada, siendo directamente influida por cuatro HSSRs diferentes: la del Caribe, la de la costa del Pacífico mexicano tropical, la del oeste subtropical del Pacífico Norte y la del centro del Atlántico Norte.

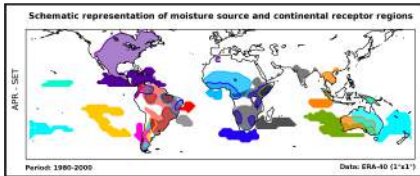
- Las regiones más afectadas se sitúan en Centro y Norteamérica, que son influenciadas por la HSSR situada en el "warm pool" del Atlántico, y la del Sahel, afectada por la fuente cercana al Golfo de Guinea.
- La HSSR al sur de la Bahía de Bengala influye en la Península de Malasia, mientras que la HSSR cerca de la Corriente de Agulhas proporciona humedad para la costa este de África y el subcontinente Indio.
- La HSSR del Pacífico situada al este de Australia afecta a la mitad oriental del continente.

Fuentes de precipitación vinculadas al cambio climático

Invierno boreal



Verano boreal

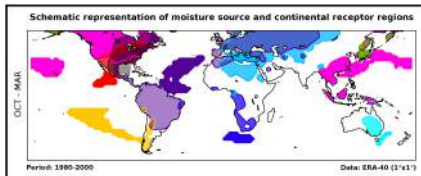


- Dos HSSRs tienen una influencia más amplia que las demás, la situada en el centro del Atlántico Norte y la otra en el oeste subtropical del Pacífico Norte.
- La HSSR situada en el Mediterráneo, tiene una fuerte influencia sobre la precipitación en Europa.
- América del Norte es la región continental más afectada, siendo directamente influida por cuatro HSSRs diferentes: la del Caribe, la de la costa del Pacífico mexicano tropical, la del oeste subtropical del Pacífico Norte y la del centro del Atlántico Norte.

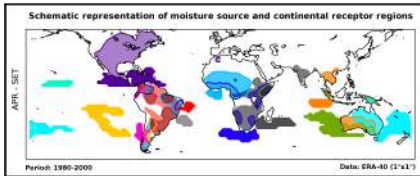
- Las regiones más afectadas se sitúan en Centro y Norteamérica, que son influenciadas por la HSSR situada en el "warm pool" del Atlántico, y la del Sahel, afectada por la fuente cercana al Golfo de Guinea.
- La HSSR al sur de la Bahía de Bengala influye en la Península de Malasia, mientras que la HSSR cerca de la Corriente de Agulhas proporciona humedad para la costa este de África y el subcontinente Indio.
- La HSSR del Pacífico situada al este de Australia afecta a la mitad oriental del continente.

Fuentes de precipitación vinculadas al cambio climático

Invierno boreal



Verano boreal

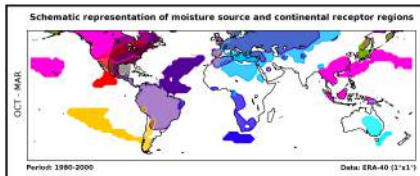


- Dos HSSRs tienen una influencia más amplia que las demás, la situada en el centro del Atlántico Norte y la otra en el oeste subtropical del Pacífico Norte.
- La HSSR situada en el Mediterráneo, tiene una fuerte influencia sobre la precipitación en Europa.
- América del Norte es la región continental más afectada, siendo directamente influida por cuatro HSSRs diferentes: la del Caribe, la de la costa del Pacífico mexicano tropical, la del oeste subtropical del Pacífico Norte y la del centro del Atlántico Norte.

- Las regiones más afectadas se sitúan en Centro y Norteamérica, que son influenciadas por la HSSR situada en el "warm pool" del Atlántico, y la del Sahel, afectada por la fuente cercana al Golfo de Guinea.
- La HSSR al sur de la Bahía de Bengala influye en la Península de Malasia, mientras que la HSSR cerca de la Corriente de Agulhas proporciona humedad para la costa este de África y el subcontinente Indio.
- La HSSR del Pacífico situada al este de Australia afecta a la mitad oriental del continente.

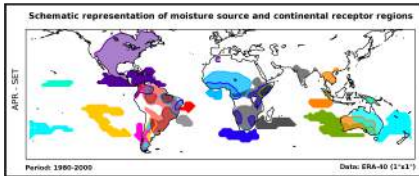
Fuentes de precipitación vinculadas al cambio climático

Invierno boreal



- Dos HSSRs tienen una influencia más amplia que las demás, la situada en el centro del Atlántico Norte y la otra en el oeste subtropical del Pacífico Norte.
- La HSSR situada en el Mediterráneo, tiene una fuerte influencia sobre la precipitación en Europa.
- América del Norte es la región continental más afectada, siendo directamente influida por cuatro HSSRs diferentes: la del Caribe, la de la costa del Pacífico mexicano tropical, la del oeste subtropical del Pacífico Norte y la del centro del Atlántico Norte.

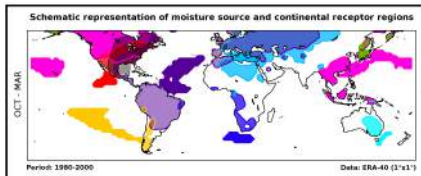
Verano boreal



- Las regiones más afectadas se sitúan en Centro y Norteamérica, que son influenciadas por la HSSR situada en el "warm pool" del Atlántico, y la del Sahel, afectada por la fuente cercana al Golfo de Guinea.
- La HSSR al sur de la Bahía de Bengala influye en la Península de Malasia, mientras que la HSSR cerca de la Corriente de Agulhas proporciona humedad para la costa este de África y el subcontinente Indio.
- La HSSR del Pacífico situada al este de Australia afecta a la mitad oriental del continente.

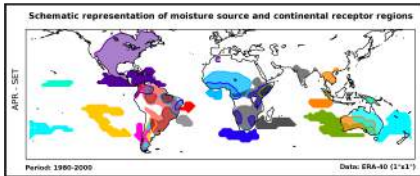
Fuentes de precipitación vinculadas al cambio climático

Invierno boreal



- Dos HSSRs tienen una influencia más amplia que las demás, la situada en el centro del Atlántico Norte y la otra en el oeste subtropical del Pacífico Norte.
- La HSSR situada en el Mediterráneo, tiene una fuerte influencia sobre la precipitación en Europa.
- América del Norte es la región continental más afectada, siendo directamente influida por cuatro HSSRs diferentes: la del Caribe, la de la costa del Pacífico mexicano tropical, la del oeste subtropical del Pacífico Norte y la del centro del Atlántico Norte.

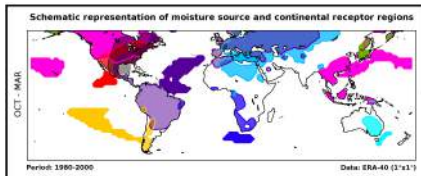
Verano boreal



- Las regiones más afectadas se sitúan en Centro y Norteamérica, que son influenciadas por la HSSR situada en el "warm pool" del Atlántico, y la del Sahel, afectada por la fuente cercana al Golfo de Guinea.
- La HSSR al sur de la Bahía de Bengala influye en la Península de Malasia, mientras que la HSSR cerca de la Corriente de Agulhas proporciona humedad para la costa este de África y el subcontinente Indio.
- La HSSR del Pacífico situada al este de Australia afecta a la mitad oriental del continente.

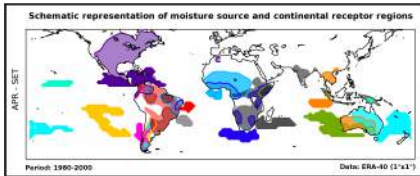
Fuentes de precipitación vinculadas al cambio climático

Invierno boreal



- Dos HSSRs tienen una influencia más amplia que las demás, la situada en el centro del Atlántico Norte y la otra en el oeste subtropical del Pacífico Norte.
- La HSSR situada en el Mediterráneo, tiene una fuerte influencia sobre la precipitación en Europa.
- América del Norte es la región continental más afectada, siendo directamente influida por cuatro HSSRs diferentes: la del Caribe, la de la costa del Pacífico mexicano tropical, la del oeste subtropical del Pacífico Norte y la del centro del Atlántico Norte.

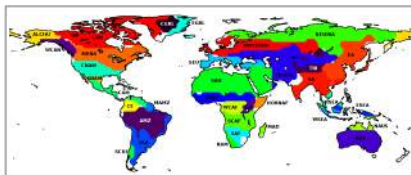
Verano boreal



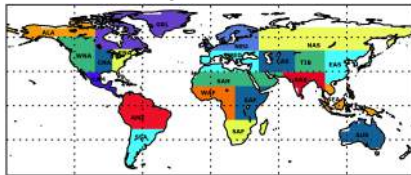
- Las regiones más afectadas se sitúan en Centro y Norteamérica, que son influenciadas por la HSSR situada en el "warm pool" del Atlántico, y la del Sahel, afectada por la fuente cercana al Golfo de Guinea.
- La HSSR al sur de la Bahía de Bengala influye en la Península de Malasia, mientras que la HSSR cerca de la Corriente de Agulhas proporciona humedad para la costa este de África y el subcontinente Indio.
- La HSSR del Pacífico situada al este de Australia afecta a la mitad oriental del continente.

Fuentes de humedad para las regiones climáticas continentales

Regiones MKRs



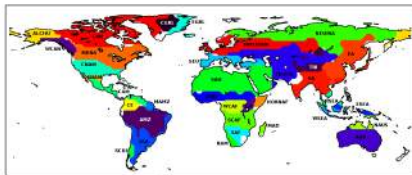
Regiones GRs



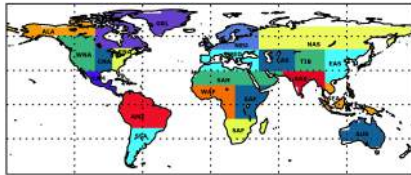
- Esta regionalización fue definida por Mahlstein & Knutti (2010).
- Se compone de 35 regiones geográficas sobre toda la superficie del globo que presentan promedios climáticos similares a finales del siglo XX (1970-1999) y cambios similares u homogéneos en las proyecciones de precipitación para finales del siglo XXI (2070-2099).

Fuentes de humedad para las regiones climáticas continentales

Regiones MKRs



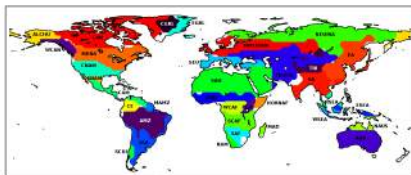
Regiones GRs



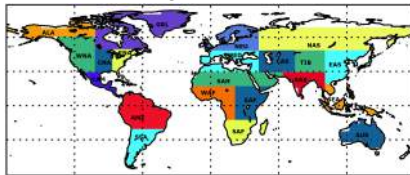
- Esta regionalización fue definida por Mahlstein & Knutti (2010).
- Se compone de 35 regiones geográficas sobre toda la superficie del globo que presentan promedios climáticos similares a finales del siglo XX (1970-1999) y cambios similares u homogéneos en las proyecciones de precipitación para finales del siglo XXI (2070-2099).

Fuentes de humedad para las regiones climáticas continentales

Regiones MKRs



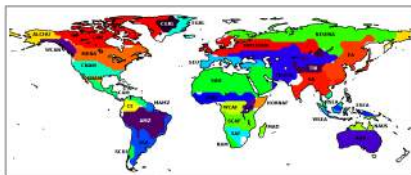
Regiones GRs



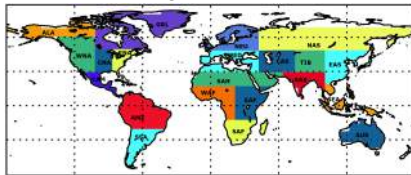
- Esta regionalización fue definida por Mahlstein & Knutti (2010).
- Se compone de 35 regiones geográficas sobre toda la superficie del globo que presentan promedios climáticos similares a finales del siglo XX (1970-1999) y cambios similares u homogéneos en las proyecciones de precipitación para finales del siglo XXI (2070-2099).

Fuentes de humedad para las regiones climáticas continentales

Regiones MKRs



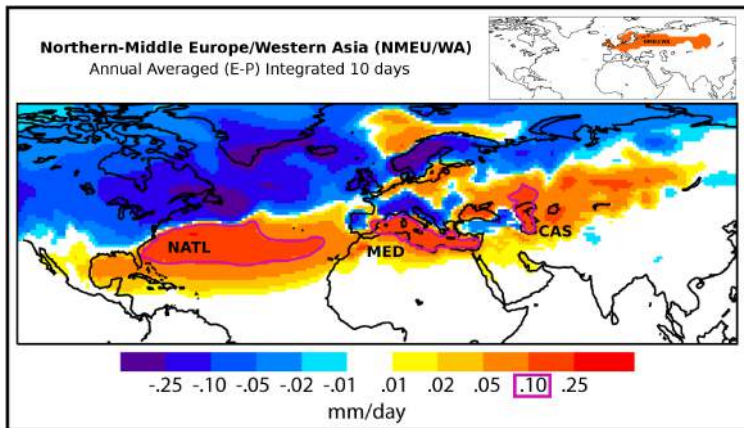
Regiones GRs



- Esta regionalización fue definida por Mahlstein & Knutti (2010).
- Se compone de 35 regiones geográficas sobre toda la superficie del globo que presentan promedios climáticos similares a finales del siglo XX (1970-1999) y cambios similares u homogéneos en las proyecciones de precipitación para finales del siglo XXI (2070-2099).
- Esta regionalización fue definida por Giorgi & Francisco (2000).
- Se compone de 21 regiones geográficas sobre toda la superficie del globo que representan diferentes regímenes climáticos homogéneos en la actualidad y que son ampliamente utilizadas en los informes del IPCC.

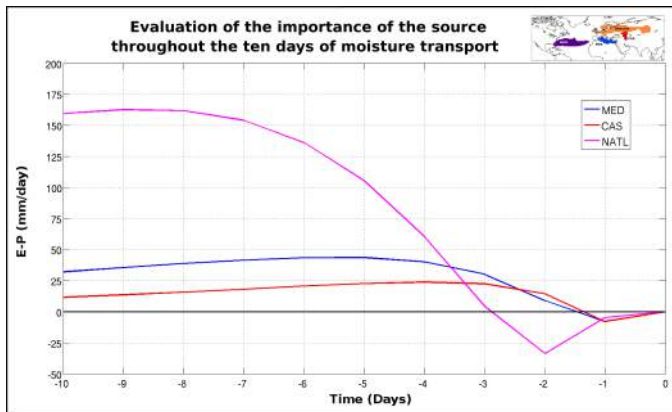
Región climática continental ejemplo

Identificación de fuentes de humedad.



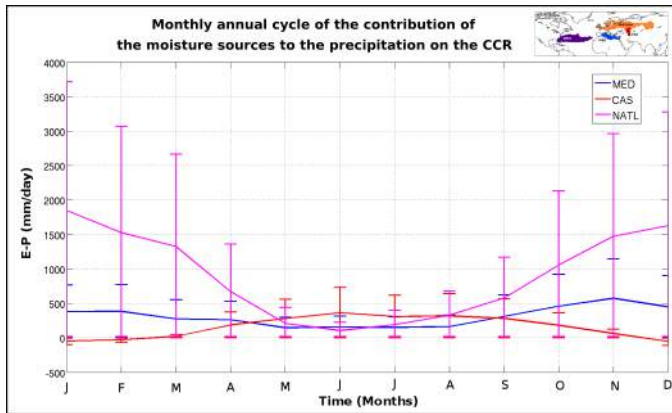
Región climática continental ejemplo

Importancia de las fuentes a través de los 10 días de transporte de humedad.



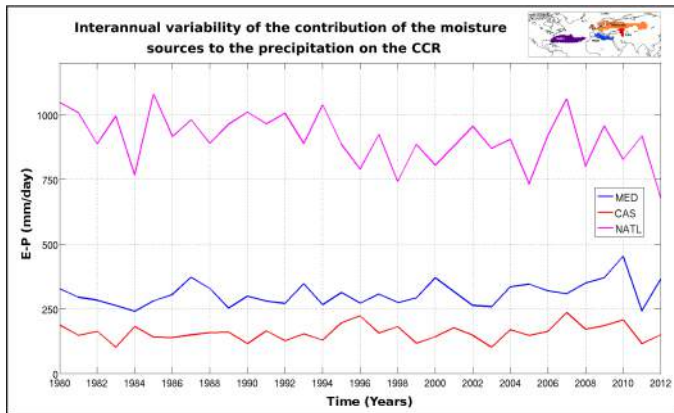
Región climática continental ejemplo

Ciclo anual de la contribución de las fuentes de humedad a la precipitación en la región de destino.



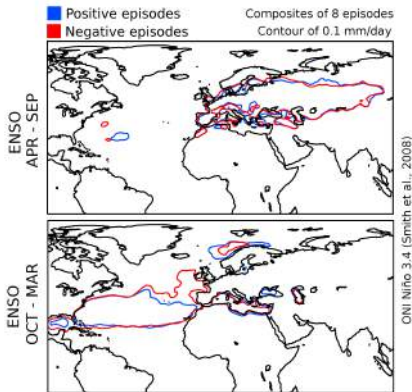
Región climática continental ejemplo

Variabilidad interanual de la contribución de las fuentes de humedad a la precipitación en la región de destino.



Región climática continental ejemplo

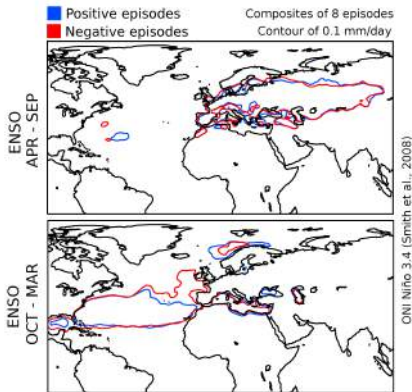
Evaluación del rol de los principales patrones de teleconexión.



- **ENSO** parece no tener influencia sobre las fuentes de humedad de la región NMEU/WA sobre el verano, mientras que en el invierno modifica la fuente del Atlántico.
- El cambio de océano a tierra observado se debe al comportamiento estacional entre el invierno y el verano boreal en el transporte de la humedad precipitable.

Región climática continental ejemplo

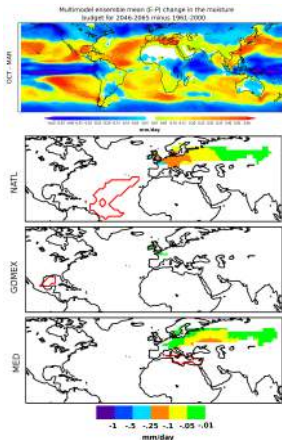
Evaluación del rol de los principales patrones de teleconexión.



- **ENSO** parece no tener influencia sobre las fuentes de humedad de la región NMEU/WA sobre el verano, mientras que en el invierno modifica la fuente del Atlántico.
- El cambio de océano a tierra observado se debe al comportamiento estacional entre el invierno y el verano boreal en el transporte de la humedad precipitable.

Región climática continental ejemplo

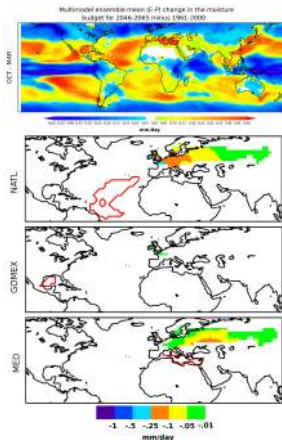
Identificación de las regiones fuente “hot spot” que afectan a la región climática continental.



- La región climática continental NMEU/WA sólo se ve afectada por las HSSRs del invierno semianual extendido.
- Tres HRRs afectan a la región climática continental, la del Atlántico Norte, la del Golfo de México y la del Mar Mediterráneo.

Región climática continental ejemplo

Identificación de las regiones fuente “hot spot” que afectan a la región climática continental.



- La región climática continental NMEU/WA sólo se ve afectada por las HSSRs del invierno semianual extendido.
- Tres HRRs afectan a la región climática continental, la del Atlántico Norte, la del Golfo de México y la del Mar Mediterráneo.

Conclusiones

Afectación continental debida a las principales fuentes de humedad

- *Se evidencia el eficiente transporte debido a los mecanismos dinámicos asociados como los chorros en niveles bajos o el “storm track system”, vislumbrados en el transporte de humedad desde la fuente del Océano Atlántico Norte subtropical que influye en la precipitación continental sobre vastas áreas, especialmente durante **DJF** cuando su influencia se extiende desde México hasta partes de Euroasia y desde el Ártico Euroasiático al Amazonas.*

Conclusiones

Intensificación de las principales fuentes de humedad

- El aumento de la precipitación asociada con las circulaciones monzónicas más intensas es evidente durante **DJF** para el monzón de América del Sur (desde la fuente **NATL**), lo que confirma el papel del transporte de humedad que cruza el ecuador durante los eventos monzónicos intensos sobre la cuenca del Amazonas.
- El papel del aumento del transporte de humedad desde la fuente **ARAB** en la intensificación de la precipitación asociada con los monzones asiáticos e indios de verano es evidente, reafirmando el cruce ecuatorial del transporte de humedad.
- Del mismo modo, los sistemas monzónicos de Norteamérica más fuertes que los habituales durante **JJA**, también se basan en una mayor disponibilidad de humedad de la fuente **MEXCAR**.

Conclusiones

Intensificación de las principales fuentes de humedad

- *El aumento de la precipitación asociada con las circulaciones monzónicas más intensas es evidente durante **DJF** para el monzón de América del Sur (desde la fuente **NATL**), lo que confirma el papel del transporte de humedad que cruza el ecuador durante los eventos monzónicos intensos sobre la cuenca del Amazonas.*
- *El papel del aumento del transporte de humedad desde la fuente **ARAB** en la intensificación de la precipitación asociada con los monzones asiáticos e indios de verano es evidente, reafirmando el cruce ecuatorial del transporte de humedad.*
- *Del mismo modo, los sistemas monzónicos de Norteamérica más fuertes que los habituales durante **JJA**, también se basan en una mayor disponibilidad de humedad de la fuente **MEXCAR**.*

Conclusiones

Intensificación de las principales fuentes de humedad

- *El aumento de la precipitación asociada con las circulaciones monzónicas más intensas es evidente durante **DJF** para el monzón de América del Sur (desde la fuente **NATL**), lo que confirma el papel del transporte de humedad que cruza el ecuador durante los eventos monzónicos intensos sobre la cuenca del Amazonas.*
- *El papel del aumento del transporte de humedad desde la fuente **ARAB** en la intensificación de la precipitación asociada con los monzones asiáticos e indios de verano es evidente, reafirmando el cruce ecuatorial del transporte de humedad.*
- *Del mismo modo, los sistemas monzónicos de Norteamérica más fuertes que los habituales durante **JJA**, también se basan en una mayor disponibilidad de humedad de la fuente **MEXCAR**.*

Conclusiones

Papel de los principales modos de variabilidad climática

- En la fase **El Niño** se reproducen los patrones conocidos de las variaciones de los sistemas atmosféricos y de precipitación a gran escala, como son el desplazamiento de las lluvias ecuatoriales del Pacífico hacia la cuenca oriental, el debilitamiento de los principales sistemas monzónicos de verano y el aumento de la precipitación subtropical.
- En contraste, durante los episodios **La Niña** las precipitaciones del Pacífico ecuatorial se concentra más en la cuenca occidental, los principales sistemas monzónicos de verano se intensifican y la precipitación en los subtrópicos se debilita.

Conclusiones

Papel de los principales modos de variabilidad climática

- En la fase **El Niño** se reproducen los patrones conocidos de las variaciones de los sistemas atmosféricos y de precipitación a gran escala, como son el desplazamiento de las lluvias ecuatoriales del Pacífico hacia la cuenca oriental, el debilitamiento de los principales sistemas monzónicos de verano y el aumento de la precipitación subtropical.
- En contraste, durante los episodios **La Niña** las precipitaciones del Pacífico ecuatorial se concentra más en la cuenca occidental, los principales sistemas monzónicos de verano se intensifican y la precipitación en los subtrópicos se debilita.

Conclusiones

Papel de los principales modos de variabilidad climática

- Durante la fase **NAM positiva** se espera una intensificación de las altas presiones y de los vientos alisios, por lo que el transporte de humedad se ve favorecido desde el Pacífico Norte hacia el este de Asia, y desde el Atlántico Norte hacia el Mar Caribe.
- La fase **NAM negativa** está asociada con el desplazamiento del “storm track” hacia latitudes tropicales. Por lo tanto, el transporte de humedad es favorecido desde el Pacífico Norte hacia la cuenca del noreste y desde el Atlántico Norte y el Mediterráneo hacia el sur de Europa.

Conclusiones

Papel de los principales modos de variabilidad climática

- Durante la fase **NAM positiva** se espera una intensificación de las altas presiones y de los vientos alisios, por lo que el transporte de humedad se ve favorecido desde el Pacífico Norte hacia el este de Asia, y desde el Atlántico Norte hacia el Mar Caribe.
- La fase **NAM negativa** está asociada con el desplazamiento del “storm track” hacia latitudes tropicales. Por lo tanto, el transporte de humedad es favorecido desde el Pacífico Norte hacia la cuenca del noreste y desde el Atlántico Norte y el Mediterráneo hacia el sur de Europa.

Conclusiones

Papel de los principales modos de variabilidad climática

- Durante la fase **SAM positiva** más humedad es transportada desde las fuentes oceánicas del Atlántico y de la India hacia el sur y hacia el este que durante la fase opuesta debido a la intensificación de las altas presiones y los vientos del oeste.
- La fase **SAM negativa** esta asociada con el desplazamiento de las trayectorias de los ciclones hacia el norte, provocando que el sudeste de América del Sur reciba más humedad desde el Pacífico y las fuentes del Atlántico.

Conclusiones

Papel de los principales modos de variabilidad climática

- Durante la fase **SAM positiva** más humedad es transportada desde las fuentes oceánicas del Atlántico y de la India hacia el sur y hacia el este que durante la fase opuesta debido a la intensificación de las altas presiones y los vientos del oeste.
- La fase **SAM negativa** esta asociada con el desplazamiento de las trayectorias de los ciclones hacia el norte, provocando que el sudeste de América del Sur reciba más humedad desde el Pacífico y las fuentes del Atlántico.

Conclusiones

Fuentes de precipitación vinculadas al cambio climático

- En el *invierno boreal* amplios sectores de Europa, Asia, Oriente Medio, América del Sur y el Sur de África están afectados por cambios en la precipitación, pero América del Norte emerge como la región continental más afectada.
- En el *verano boreal* los mayores cambios están confinados en Norte y Centroamérica.
- Áreas altamente pobladas como Centro y Norteamérica, Europa y el Golfo de Guinea que se encuentran bajo estrés hídrico, podrían llegar a ser menos propensas a la disminución de sus recursos hídricos debido al cambio climático.

Conclusiones

Fuentes de precipitación vinculadas al cambio climático

- En el *invierno boreal* amplios sectores de Europa, Asia, Oriente Medio, América del Sur y el Sur de África están afectados por cambios en la precipitación, pero América del Norte emerge como la región continental más afectada.
- En el *verano boreal* los mayores cambios están confinados en Norte y Centroamérica.
- Áreas altamente pobladas como Centro y Norteamérica, Europa y el Golfo de Guinea que se encuentran bajo estrés hídrico, podrían llegar a ser menos propensas a la disminución de sus recursos hídricos debido al cambio climático.

Conclusiones

Fuentes de precipitación vinculadas al cambio climático

- En el *invierno boreal* amplios sectores de Europa, Asia, Oriente Medio, América del Sur y el Sur de África están afectados por cambios en la precipitación, pero América del Norte emerge como la región continental más afectada.
- En el *verano boreal* los mayores cambios están confinados en Norte y Centroamérica.
- Áreas altamente pobladas como Centro y Norteamérica, Europa y el Golfo de Guinea que se encuentran bajo estrés hídrico, podrían llegar a ser menos propensas a la disminución de sus recursos hídricos debido al cambio climático.

Conclusiones

Fuentes de humedad para las regiones climáticas continentales

- *Se analizaron las fuentes de humedad y sus relaciones fuente-sumidero de la manera más completa posible para dos conjuntos de regiones climáticas continentales.*
- *Los resultados sobre las fuentes de humedad para todas las regiones climáticas están disponibles en forma de catálogo libremente “on-line” en la página web:*
<http://ephyslab.uvigo.es/tramo/ccrs/>.

Conclusiones

Fuentes de humedad para las regiones climáticas continentales

- *Se analizaron las fuentes de humedad y sus relaciones fuente-sumidero de la manera más completa posible para dos conjuntos de regiones climáticas continentales.*
- *Los resultados sobre las fuentes de humedad para todas las regiones climáticas están disponibles en forma de catálogo libremente “on-line” en la página web:*
<http://ephyslab.uvigo.es/tramo/ccrs/>.

Agradecimientos

- Xunta de Galicia
- Ministerio de Economía y Competitividad de España
- Universidad de Costa Rica
- Environmental Physics Laboratory

Gracias por la atención!