

Ejemplos de aplicaciones de métodos lagrangianos de transporte de humedad y de calor en Sudamérica



Raquel Nieto

Universidade de Vigo

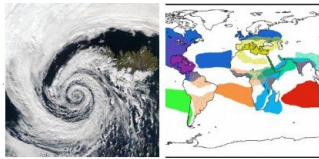


The authors acknowledge the support from
EXMERISK PROJECT (TED2021-129152B-C43)
MCIN/AEI y Unión Europea NextGenerationEU/ PRTR)



Main research topics

- 1 **Meteorological systems**
- 2 Global moisture sources
- 3 Regional moisture sources
- 4 Droughts and extreme precipitation
- 5 Moisture sources in the future
- 6 **Temperature transport**



Research topics: Lagrangian models

The trajectory-based (Lagrangian) methods have been widely used in EPhysLab to investigate the atmospheric moisture transport

FLEXPART-ERA-I

FLEXPARTv9.0

- 2 million air parcels
- Global simulations
- Period: 1980-2018
- Input H resolution: 1^0
- Input V resolution: 61 levels
- Output: binary files

FLEXPART-ERA5

FLEXPARTv10.4

- 30 million air parcels
- Global simulations
- Period: 1980-2024
- Input H resolution: 0.5^0
- Input V resolution: 137 levels
- Output: binary files

FLEXPART-WRF

FLEXPART-WRFv3.3.2

- Depending on WRF config
- Regional simulations
- Depending on the study goals
- Input H resolution: WRF
- Input V resolution: WRF
- Output: binary files

Lagrangian moisture tracking approaches

They are based on the Lagrangian water budget equation from
Stohl and James (2004,2005)

$$(e - p) = m \frac{dq}{dt} \approx m \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

Considering the $(e - p)$ contribution from all particles at every grid position, the total surface freshwater flux can be computed

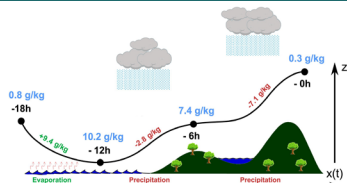
$$E - P = \frac{m \sum_{k=1}^N P_k (e - p)_k}{A}$$

$E - P > 0$ **Source region**

$E - P < 0$ **Sink region**

Stohl, A., and P. James (2004). *Journal of Hydrometeorology*, 5(8), 656–678. [https://doi.org/10.1175/1525-7541\(2004\)005<0656:ALAOTA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1525-7541(2004)005<0656:ALAOTA>2.0.CO;2)

Stohl, A., and P. James (2005). *Journal of Hydrometeorology*, 6(12), 961–984. <https://doi.org/10.1175/JHM470.1>



From Sodemann et al. (2008)

The precipitation en route is discounted from all previous moisture uptakes

$$\Delta q'_j = \Delta q_j + \Delta q_i P_{i-6} \frac{\Delta q_j}{\Delta q_k} \quad k=t_{end}$$

By amassing the final moisture changes of all the parcels over the area A, the **total moisture uptake (MU)** was estimated

$$MU = \frac{m \sum_{k=1}^N \Delta q'_k}{A}$$

Sodemann, H., C. Schwier, and H. Wernli (2008). *Journal of Geophysical Research*, 113, D03107. [doi:10.1029/2007JD008503](https://doi.org/10.1029/2007JD008503).

MOISTURE TRACKING backward or forward mode

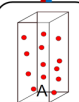
Backward

$(E - P) > 0$ MOISTURE SOURCES

Forward

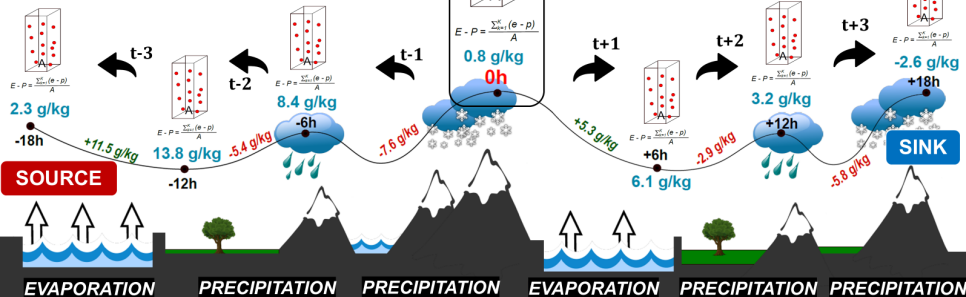
$(E - P) < 0$ MOISTURE SINKS

TARGET
REGION

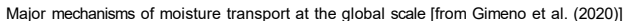


$$E - P = \frac{\sum_{k=1}^K (\theta - p)}{A}$$

0.8 g/kg
0h



EPhysLab has also investigated the moisture transport mechanisms associated with different weather systems



- Atmospheric rivers
- Low Level jets
- Tropical Cyclones
- Monsoons
- Extratropical and Subtropical cyclones

Gimeno et al. (2020) Recent progress on the sources of continental precipitation as revealed by moisture transport analysis, *Earth Science Reviews* 201 <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.103070>

Weather Systems and Mechanisms: Subtropical Cyclones

These studies are focused on the South Atlantic basin

Received: 29 November 2022 | Revised: 31 January 2023 | Accepted: 8 March 2023 | Published on: 13 April 2023

DOI: 10.1002/qj.4452

RESEARCH ARTICLE

Quarterly Journal of the
Royal Meteorological Society



The rare case of Hurricane *Catarina* (2004) over the South Atlantic Ocean: The origin of its precipitation through a Lagrangian approach

Albenis Pérez-Alarcón^{1,2} | Patricia Coll-Hidalgo^{1,3} | José C. Fernández-Alvarez^{1,2} |
Ricardo M. Trigo^{4,5} | Raquel Nieto¹ | Luis Gimeno¹

Received: 13 October 2023 | Revised: 22 March 2024 | Accepted: 1 April 2024

DOI: 10.1002/qj.4734

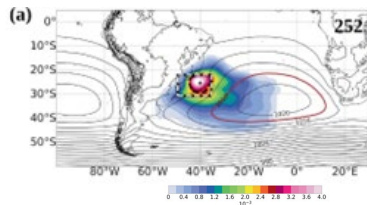
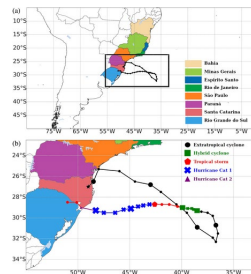
RESEARCH ARTICLE

Quarterly Journal of the
Royal Meteorological Society



Quantifying the related precipitation and moisture sources in the lifecycle of subtropical cyclones in the South Atlantic basin

Albenis Pérez-Alarcón^{1,2,3} | Patricia Coll-Hidalgo¹ |
José C. Fernández-Alvarez^{1,3} | Rogert Sori¹ | Rosmeri Porfirio da Rocha⁴ |
Michelle Simões Reboita⁵ | Raquel Nieto¹ | Luis Gimeno¹

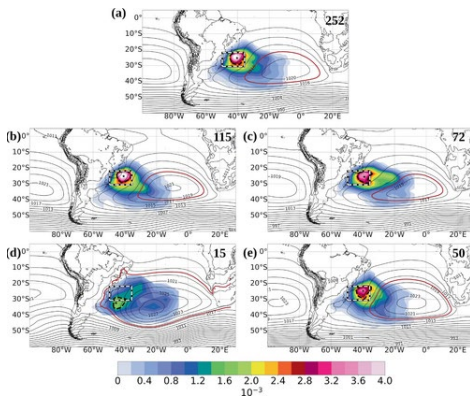


Weather Systems and Mechanisms: Subtropical Cyclones

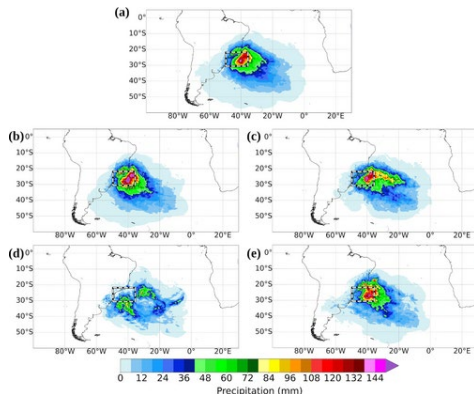
These studies are focused on the South Atlantic basin

1980 to 2015

Map of probability density of subtropical cyclone (SC) tracks over the South Atlantic Ocean basin



Average accumulated precipitation (mm)

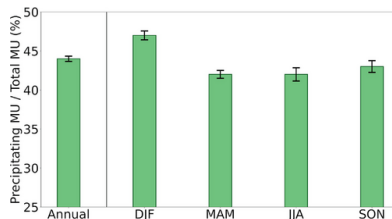
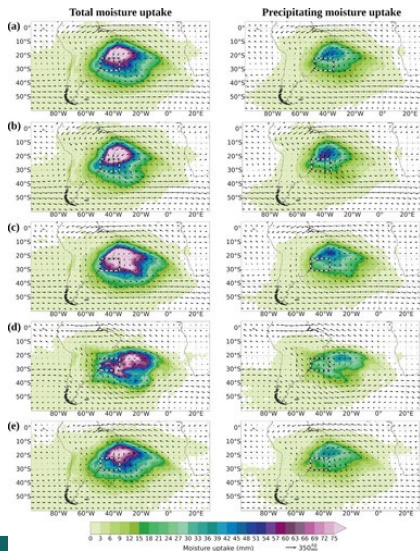


Weather Systems and Mechanisms: Subtropical Cyclones

These studies are focused on the South Atlantic basin

1980 to 2015

Lagrangian identification of moisture sources



Key Points

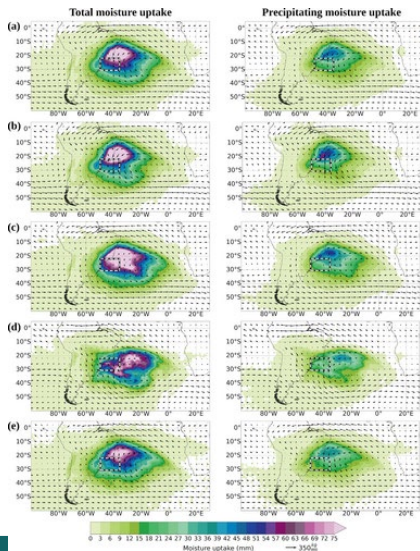
The analysis highlights the role of external sources in moisture support.

~42 %–47 % of the moisture that reached the SCs precipitates.

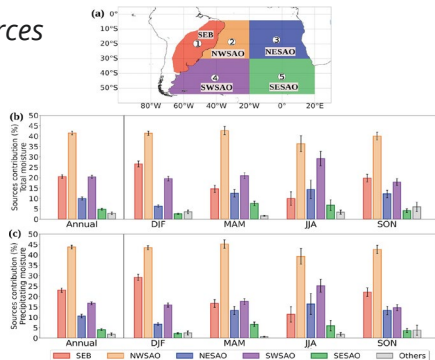
Weather Systems and Mechanisms: Subtropical Cyclones

These studies are focused on the South Atlantic basin

Lagrangian identification of moisture sources



1980 to 2015



Key Points

The analysis highlights the role of external sources in moisture support.

~42 %–47 % of the moisture that reached the SCs precipitates.

The northwestern SAO is the principal moisture source for SCs, with a quasi-constant contribution along the year.

2 dynamic/meteorological structures play the most important role in global moisture transport

Atmospheric Rivers (ARs)

Low-Level Jets (LLJs)

Deviations from the “normal” moisture transport can lead to **droughts** when the moisture supply is interrupted or to **flooding** when the supply of moisture for precipitation is too great. Often, drought or wet conditions triggered by abnormal moisture transport can be enhanced and prolonged by evaporation feedback from the local land surface.

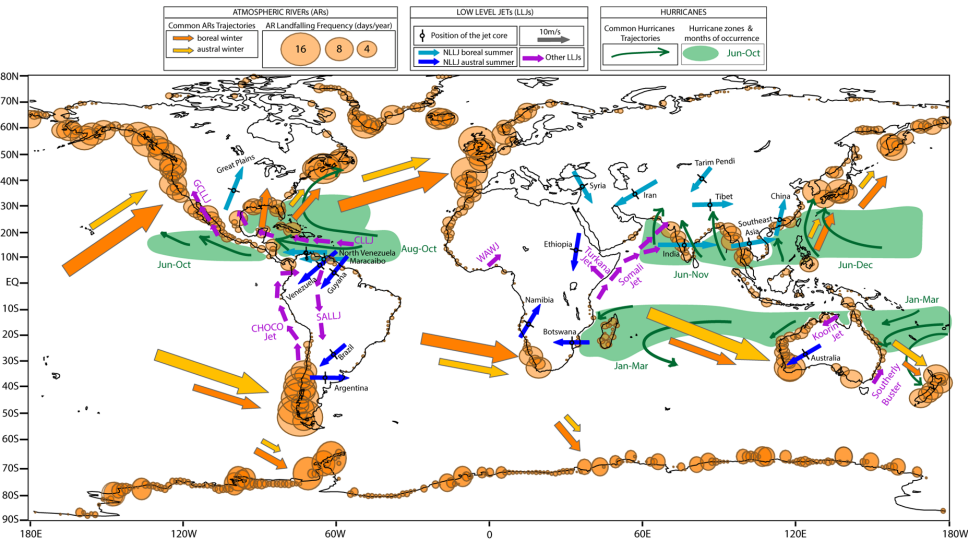
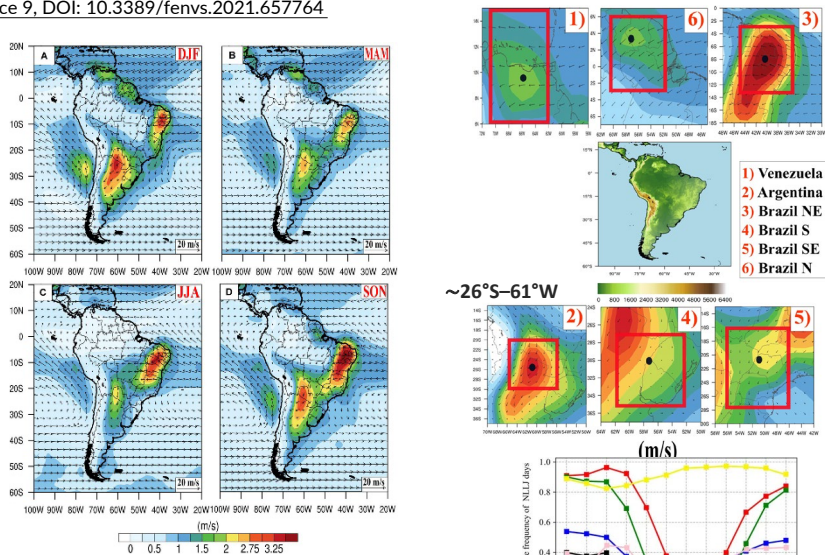


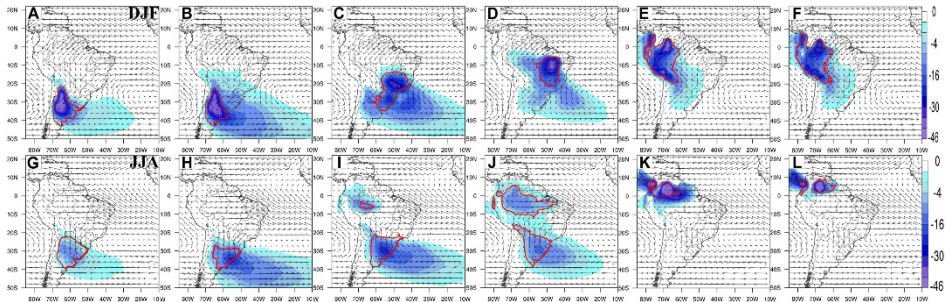
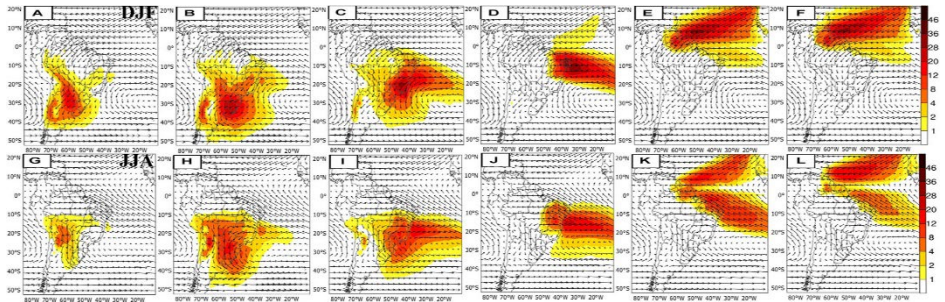
Figure adapted from Gimeno et al. 2016,
Major Mechanisms of Atmospheric Moisture Transport and their Role in Extreme Precipitation Events. ARER

Assessing the Moisture Transports Associated With Nocturnal Low-Level Jets in Continental South America.

2021. D. Ferreira Braz, T. Ambrizzi, R.P. da Rocha, I. Algarra, R. Nieto, L. Gimeno, *Frontiers in Environmental Science* 9, DOI: 10.3389/fenvs.2021.657764

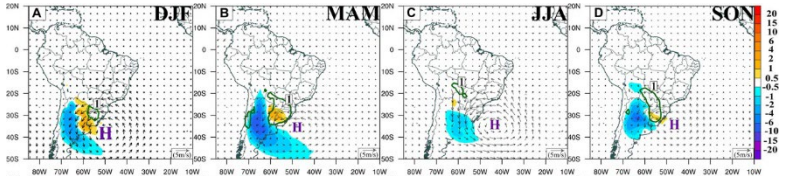


Seasonal climatology (1980–2016) of the nocturnal low-level jet (NLLJ) index (shaded in m s^{-1}), and wind (vectors with scale in the bottom right in m s^{-1}) at 900 hPa

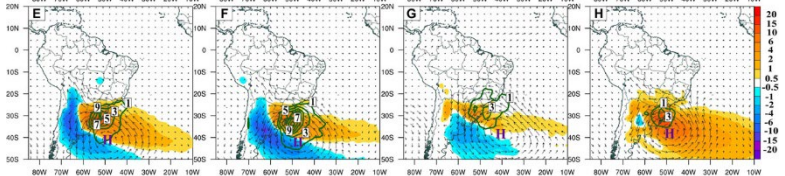
ARGENTINA**BRASIL-S****BRASIL-SE****BRASIL-NE****BRASIL-N****VENEZUELA**

Seasonal anomalies (the days with minus without NLLJ) of 10-days integrated (E – P) and 900 hPa wind (vectors; m s⁻¹) at 00:00 LT

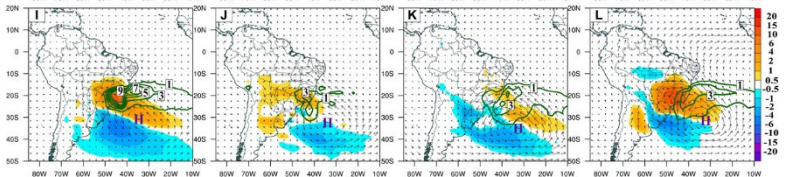
ARGENTINA



BRASIL-S



Brazil-SE

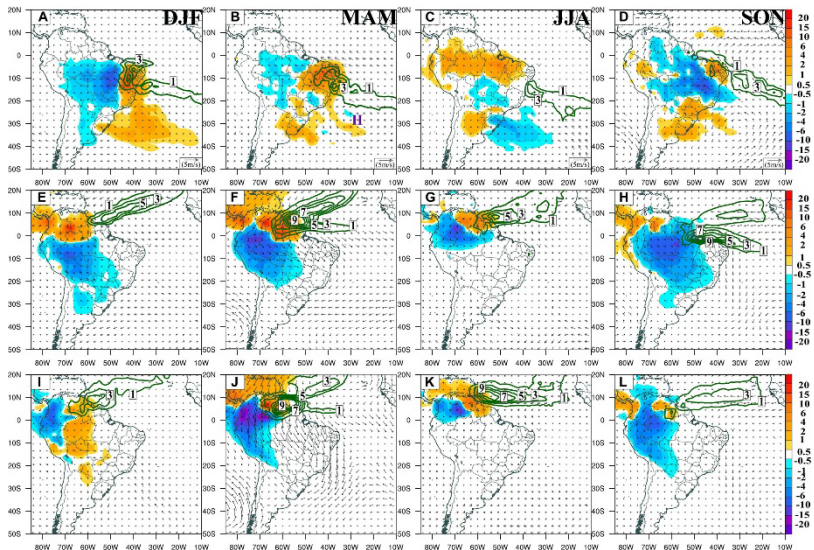


Seasonal anomalies (the days with minus without the NLLJ) of 10-days integrated (E – P) and 900 hPa wind (vectors; m s⁻¹) at 00:00 LT

H identifies the anomalous anticyclone circulation.

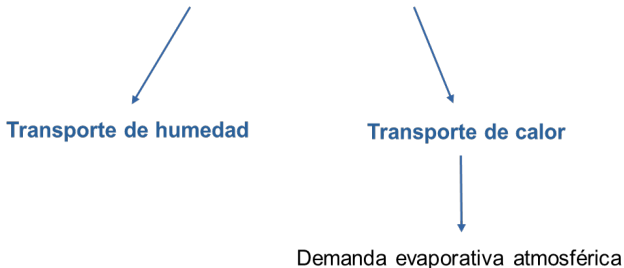
Shaded areas represent moisture sink (in mm day⁻¹) anomalies (red is positive; blue negative); green lines represent only the positive anomalies of moisture sources (in mm day⁻¹).





Factores determinantes de las sequías meteorológicas en Europa en clima actual y futuros: modelización de alta resolución del **TRANSPORTE DE HUMEDAD Y CALOR**

El origen común de las sequías es meteorológico pero existen factores dinámicos que pueden influir:



TRANSPORTE DE CALOR

Para determinar las fuentes de las anomalías de temperatura se define T' como desviaciones de la temperatura respecto a la climatología de temperatura

Para la identificación de la fuente T' se utilizan las trayectorias del FLEX-ERA5 y FLEXPART-WRF.

Los campos de T' pueden descomponerse en sus diferentes términos Röthlisberger & Papritz (2023) y Papritz & Röthlisberger (2023) e interpolarse a las posiciones de las trayectorias.

El cambio de T' en la trayectoria de una partícula entre las posiciones de trayectoria x_g en el tiempo t_g y x en el tiempo t se define como sigue:

$$T'(x, t) - T'(x_g, t_g) = \underbrace{-\int_{t_g}^t \frac{\partial T}{\partial t} d\tau}_{\text{estacional}} - \underbrace{\int_{t_g}^t \mathbf{v} \cdot \nabla_h(\underline{T}) d\tau}_{\text{advectivo}} + \underbrace{\int_{t_g}^t \left[\frac{\kappa T}{p} - \frac{\partial T}{\partial p} \right] \omega d\tau}_{\text{adiabático}} + \underbrace{\int_{t_g}^t \left(\frac{p}{p_0} \right)^\kappa \frac{D\theta}{Dt} d\tau}_{\text{no adiabático}}$$

donde $\mathbf{v}$ y ω son las componentes horizontal y vertical del viento, $\underline{T}$ la climatología de la temperatura, ∇_h el gradiente horizontal, κ la constante de Poisson, p la presión ($p_0 = 1000$ hPa), y θ la temperatura potencial.

Los términos de izquierda a derecha representan la T' determinada por :

(**estacional**) cambios temporales en la climatología incluyendo el ciclo diario y la estacionalidad (T'_{sea}),

(**advectivo**) la advección horizontal asociada a los gradientes climatológicos de T (T'_{adv}),

(**adiabático**) la expansión y compresión adiabática (T'_{adi}),

y (**no adiabático**) el calentamiento o enfriamiento diabático (T'_{dia})

$$T'(x, t) - T'(x_g, t_g) = - \int_{t_g^{sea}}^t \frac{\partial T}{\partial t} d\tau - \int_{t_g^{adv}}^t v * \nabla_h(T) d\tau + \int_{t_g^{adi}}^t \left[\frac{\kappa T}{p} - \frac{\partial T}{\partial p} \right] \omega d\tau + \int_{t_g^{dia}}^t \left(\frac{p}{p_0} \right)^\kappa \frac{D\theta}{Dt} d\tau$$

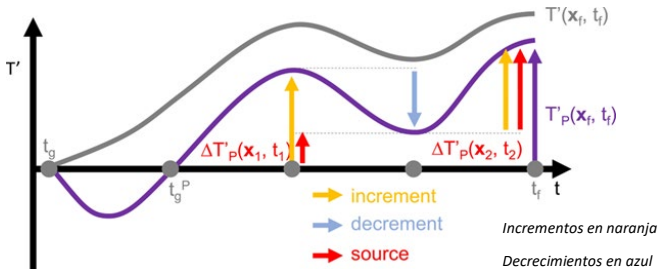
estacional

advectiva

adiabática

no adiabática

- Los **procesos adiabáticos** se relacionan con el calentamiento (enfriamiento) asociado al ascenso (descenso) de masas de aire.
- Los **procesos diabáticos** se relacionan con los procesos de condensación (evaporación), en los que se libera (absorbe) calor latente, generando calentamiento (enfriamiento), con la interacción superficie-atmósfera (liberación de calor sensible) y con el balance de radiación neta de onda larga (térmica).
- Los **procesos advectivos** están determinados por gradientes de temperatura



Incrementos en naranja

Decrecimientos en azul

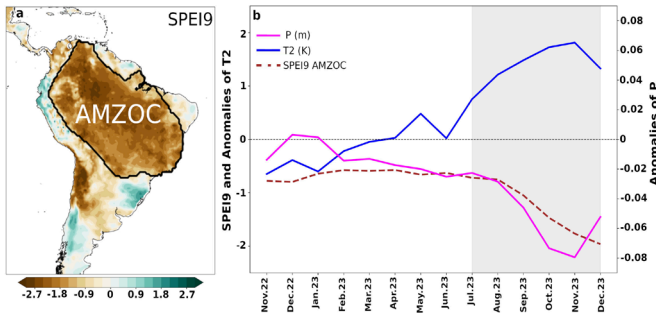
Dos fuentes de calor, $\Delta T'_P(x_1, t_1)$ y $\Delta T'_P(x_2, t_2)$ (en rojo), contribuyen a $T'_P(x_f, t_f)$ (en violeta).

From [Papritz & Röthlisberger \(2023\)](#)

Sequía en el Amazonas en 2023

“Tracking down the anomalous moisture and temperature excesses sources for the record-breaking of 2023 Amazon drought: a focus on the dry-to-wet transition season of the 2023-24 hydrological year”.

JC. Fernández-Alvarez^{1,2, 3*}, R Nieto^{2,1,5}, S.M. Vicente-Serrano⁴, D Carvalho³, L Gimeno^{2,1,5}



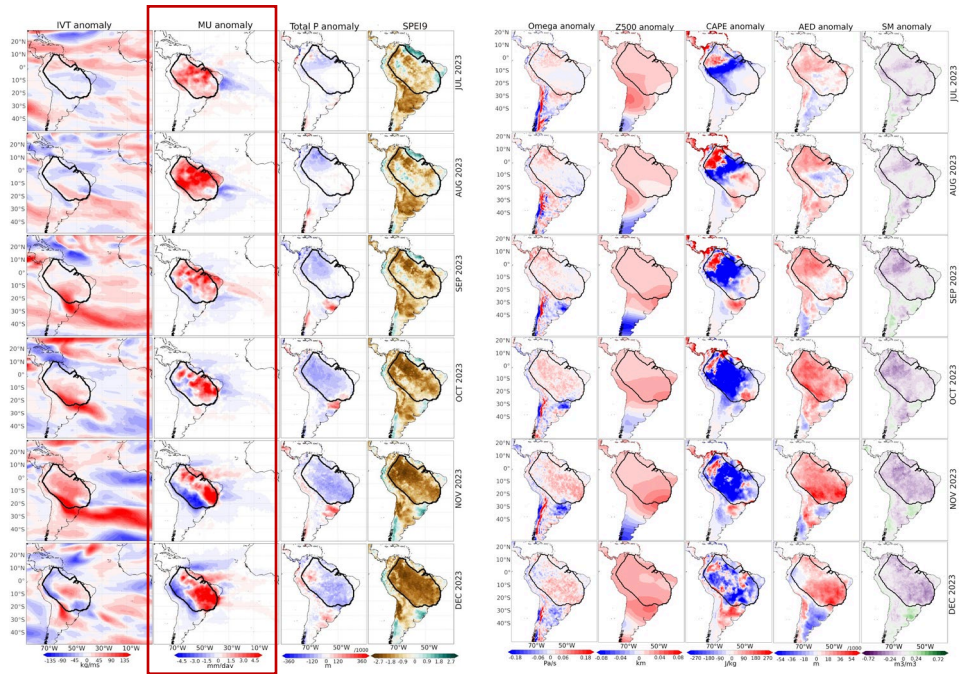
Caracterización de la sequía en 2022-2023 Amazon-Orinoco-Cerrado (AMZOC)

6 olas de calor en la región

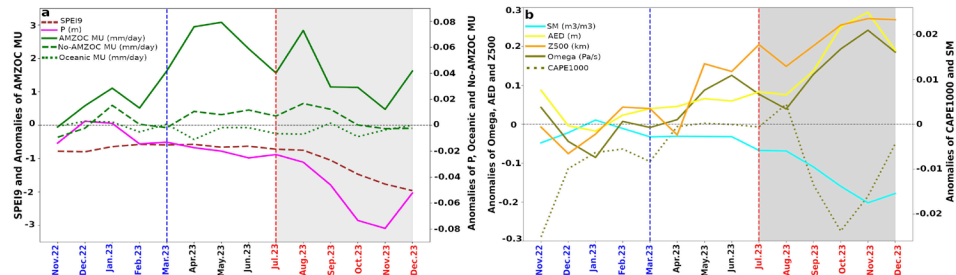
Los déficits de P y los excesos de T observados en la Amazonía pueden estar estrechamente relacionados con la fuerte humedad del aire en la zona, y que puede almacenarse en la atmósfera según la relación de Clausius-Clapeyron (CC).

Sin embargo, **se desconoce el origen de la humedad del aire y los excesos de temperatura** para la sequía de 2022-23, en particular durante la segunda mitad de 2023, que incluye la temporada de transición de la época seca a la húmeda.

Resultados: Transporte de anomalías de humedad

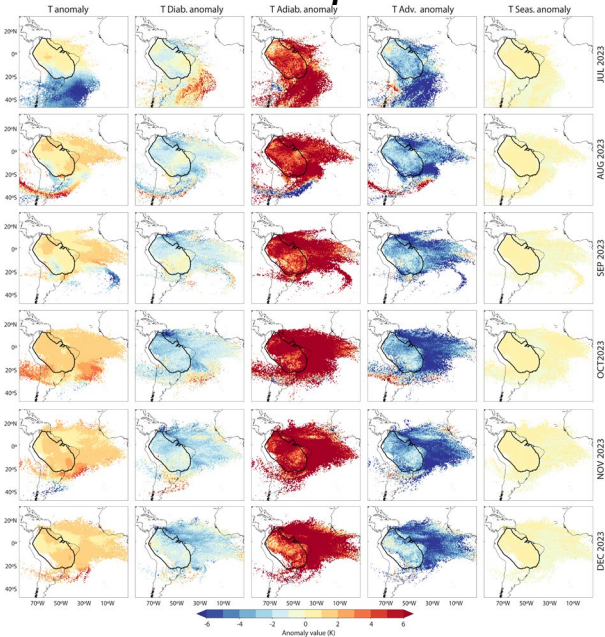


Resultados: *Transporte de anomalías de humedad*



Anomalies of drought-related variables to precipitation for the 2022-2023 AMZOC drought

Resultados: *Transporte de anomalías de Temperatura*

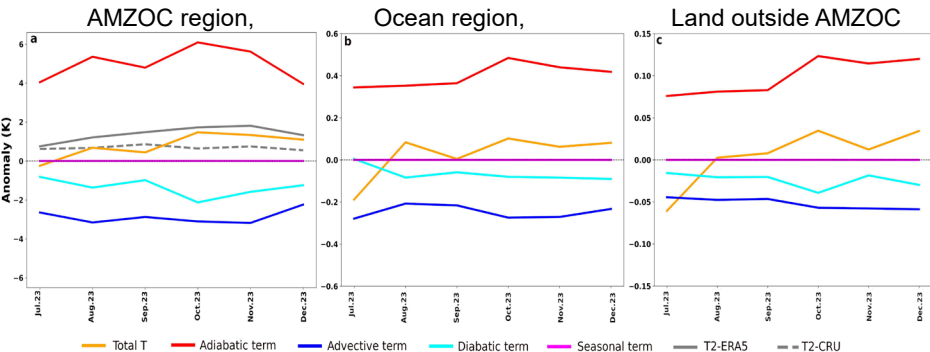
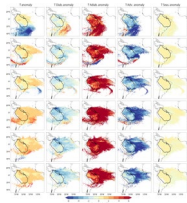
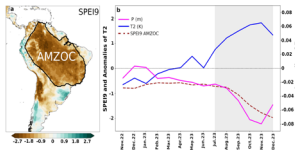


Spatial pattern of 2023 drought-related temperature anomaly sources during the dry-to-wet transition season

Trayectorias
comenzando a 120m del
nivel del suelo

- **Procesos adiabáticos** se relacionan con **calentamiento** (enfriamiento) **asociado al descenso** (ascenso) **de masas de aire**.
- Los **procesos diabáticos** se relacionan con: 1) **procesos de evaporación** en los que se absorbe calor latente generando **enfriamiento**, por absorción de calor latente debido al incremento de la AED, 2) **liberación de calor sensible** (calentamiento) ya que el T del suelo es superior a la T_{2m}) y 3) **enfriamiento radiativo** (balance de radiación neta de onda larga (térmica)).
- Los **procesos advectivos** llevan a un **enfriamiento** ²³ **flujos del ATL Sur y Antártida**

Resultados: *Transporte de anomalías de Temperatura*

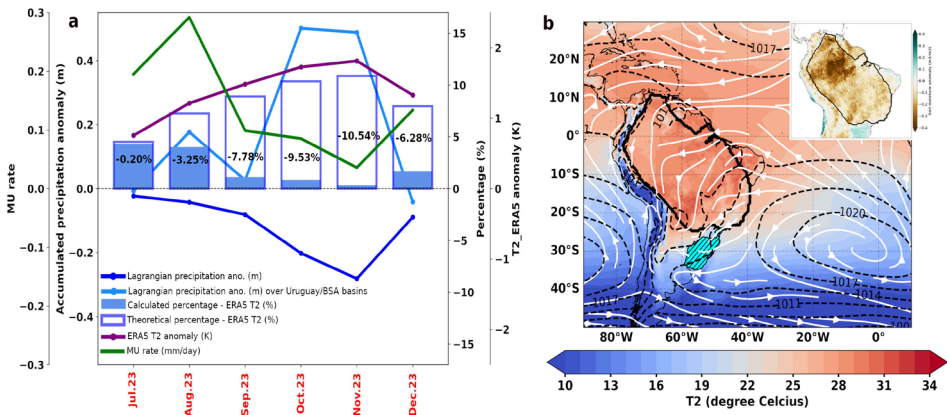


Anomalies of 2023 drought-related temperature anomaly sources during the dry-to-wet transition season

T anomalies ranged from 31 to 55 h and from 579 to 979 km, with mean values of 42 h and 760 km, respectively.

El aire anómalamente cálido en AMZOC durante julio a diciembre de 2023 debería poder almacenar una cantidad adicional de humedad, dada por la relación de Clausius-Clapeyron (tasa de 6-7 % por grado), generando así una demanda evaporativa en toda la región.

**¿ El exceso de humedad satisface la demanda evaporativa ?
¿Dónde va el exceso de humedad?**



Behaviour of different variables related to the drought in July to December 2023

Conclusiones

- ♦ Las anomalías positivas de absorción de humedad en la región se mantuvieron constantes durante el episodio de sequía.
- ♦ Estas anomalías no fueron suficientes para compensar la demanda atmosférica debido al aumento de temperatura entre julio y noviembre de 2023.
- ♦ La humedad que no precipitó localmente debido a la persistente estabilidad atmosférica se transportó (mecanismo compensatorio) hacia regiones con suficiente inestabilidad como para desencadenar la precipitación, actuando así como un sumidero para la humedad transportada desde la región AMZOC.

Ejemplos de aplicaciones de métodos lagrangianos de transporte de humedad y de calor en Sudamérica



Raquel Nieto

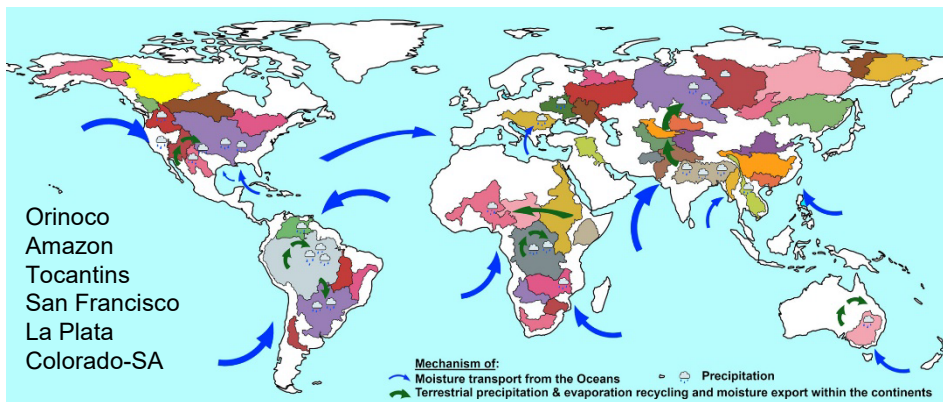
Universidade de Vigo

The authors acknowledge the support from
EXMERISK PROJECT (TED2021-129152B-C43)
MCIN/AEI y Unión Europea NextGenerationEU/ PRTR)



Other results from EPhysLab

Sorí et al. (2023) Oceanic and terrestrial origin of precipitation over **50 major world river basins**: Implications for the occurrence of drought,
Science of The Total Environment, Vol. 859, Part 2; DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.160288

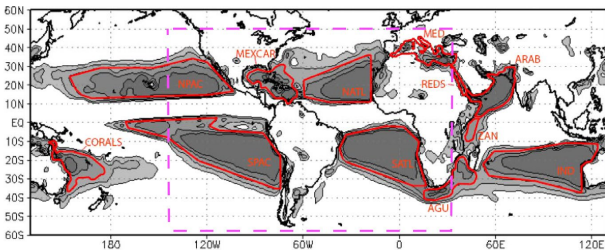


Proyecto: Present and future climate humidity transport over Central and South America: Mechanisms, extremes and attribution of changes

Se realizará la reducción de escala dinámica utilizando el modelo WRF v4.2, con datos de entrada del reanálisis ERA5 para el periodo histórico y un ensemble de salidas de GCM CMIP6 para tres conjuntos de simulaciones, un período histórico (1985-2014) y mediados y finales del siglo (2041-2070 y 2071-2100) utilizando un dominio con 20 km de resolución.

Se implementará FLEXPART-WRF para el análisis del transporte de humedad.

Dominio de modelización



1. Se investigarán las fuentes de humedad, histórico vs futuro.
2. Los cambios en los mecanismos de transporte, histórico vs futuro
3. Eventos de sequía, histórico vs futuro
4. Role del transporte de humedad en la atribución de estos eventos.

The authors acknowledge the support from
EXMERISK PROJECT (TED2021-129152B-C43)
MCIN/AEI y Unión Europea NextGenerationEU/ PRTR)

