

CONFERENCIA



TALLER DE AVANCE

***CLIMATOLOGÍA Y PRONÓSTICO DE VIENTOS EN
LA MESÓSFERA Y BAJA TERMÓSFERA SOBRE LA
COSTA CENTRAL Y NORTE DEL PERÚ***

JOSE M. SUCLUPE OSORIO

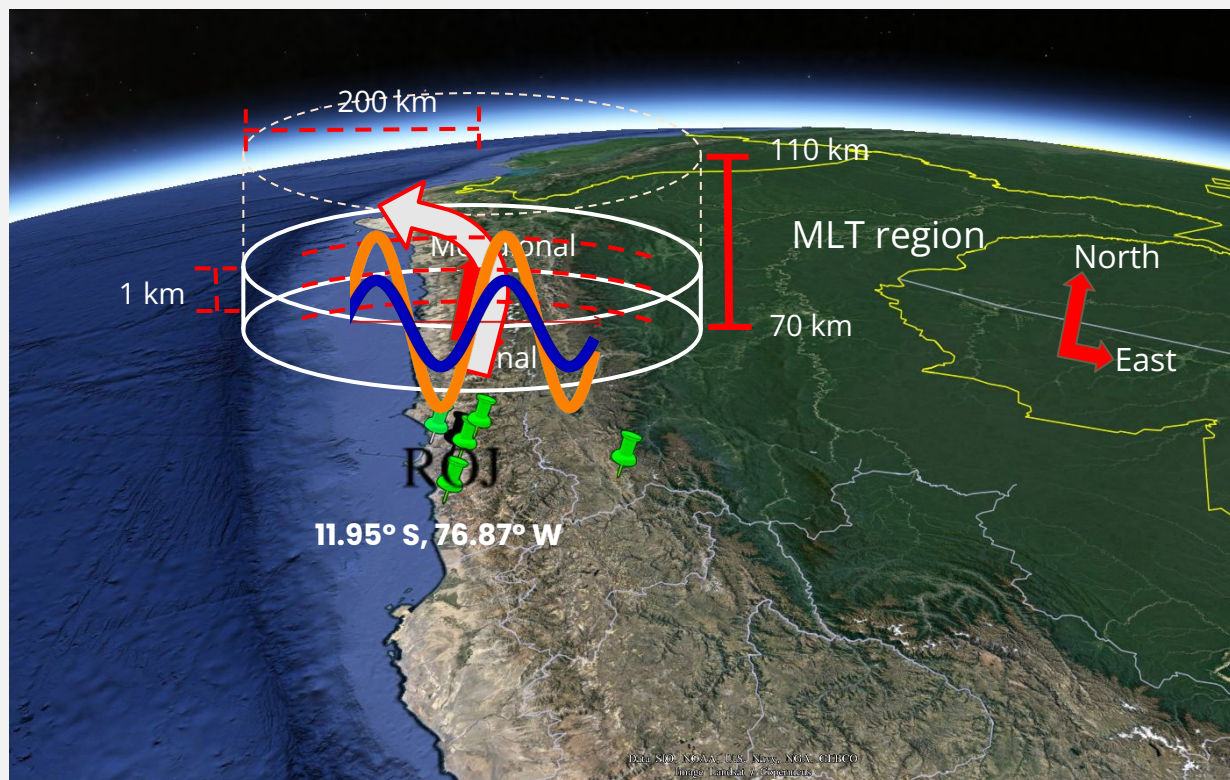
TESISTA DE POSTGRADO PUCP

CLIMATOLOGÍA DE LAS MAREAS Y ONDA PLANETARIA Q2D en la región de la Mesósfera y Baja Termósfera sobre la Costa Central de Perú

Contenido

- Introducción
- Objetivos
- Vientos medios obtenidos con el radar SIMONe Perú
- Metodología
 - Análisis wavelet
 - Mínimos cuadrados
- Resultados
 - Climatología de las observaciones (SIMONe Perú) vs modelo (WACCM-X)
- Conclusiones

Introducción

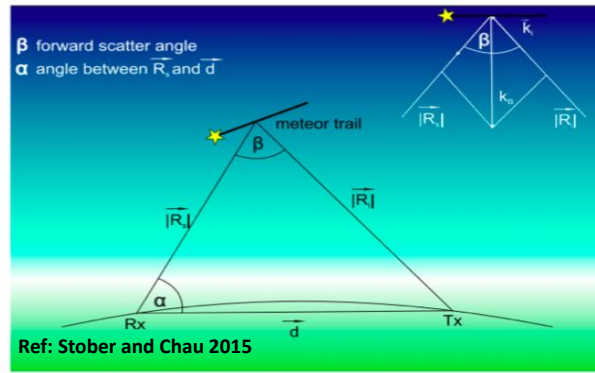


- 1)** El sistema de radar multiestático de meteoros especulares SIMONe Perú permite medir vientos con buena resolución entre los 70 y 110 km de altitud (región MLT - Mesosphere and Lower Thermosphere). Este sistema inició operaciones en septiembre de 2019 en la costa central del Perú
- 2)** El entendimiento de la dinámica de la región MLT puede servir para mejorar las simulaciones o modelos de predicción de clima y tiempo de la baja atmósfera.
- 3)** La dinámica de la región MLT a gran escala (mareas atmosféricas y ondas planetarias) se ha estudiado en las últimas dos décadas con instrumentos terrestres y satelitales y con modelos de circulación general (GCM).

Objetivos

- 1) **Obtener la climatología de las mareas atmosféricas solares** (de periodos 8, 12 y 24 horas) **y onda planetaria Q2D** (cuasi-dos días) en la región MLT entre 80-100 km a partir de los vientos medidos con la red de radares SIMONe Perú (Jicamarca).
- 2) **Comparar la climatología observacional** con una climatología obtenida con el **modelo de circulación general WACCM-X**.
- 3) **Implementar métodos de análisis wavelet y mínimos cuadrados** para detectar y caracterizar periodicidades en series de tiempo de los vientos MLT.

Vientos medios zonal y meridional obtenidos con SIMONE Perú



Pequeños meteoros entran a la región MLT

Ionización en el medio neutro

Irregularidades son llevadas por el viento

$$\vec{u} \cdot \vec{k}_B = 2\pi f_d$$

\vec{u} : Vector velocidad

\vec{k}_B : Vector de Bragg

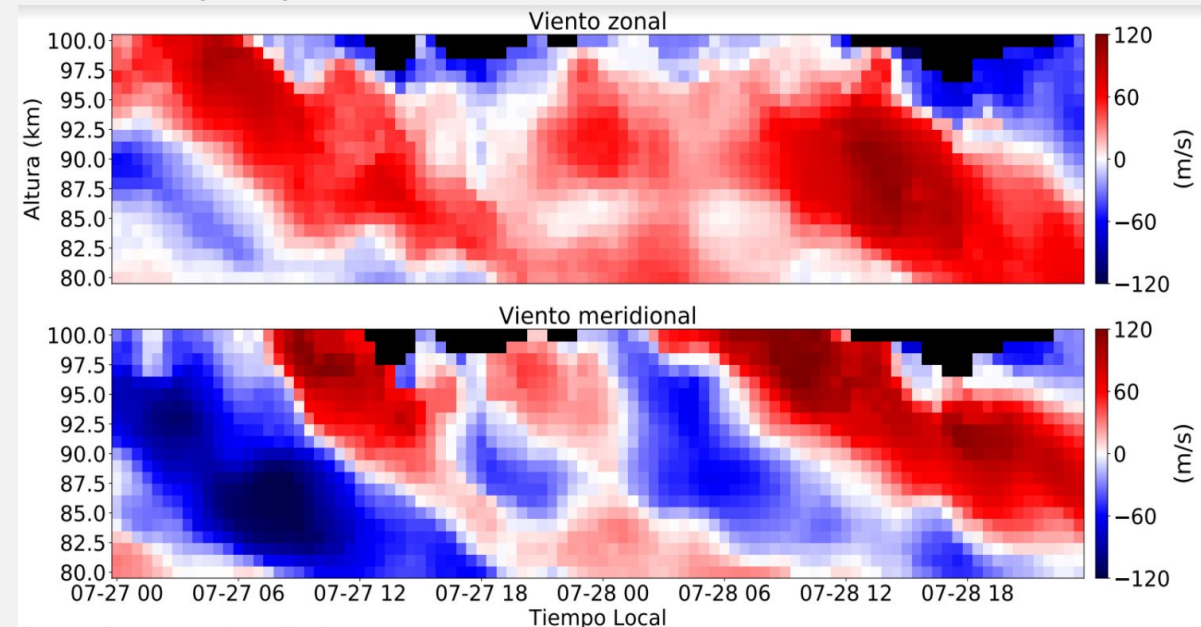
f_d : Frecuencia Doppler

SIMONE Perú (Jicamarca):

1) Es un proyecto del Instituto Leibniz de Física Atmosférica (IAP) que se implementó con la colaboración del Instituto Geofísico del Perú.

2) Está instalado en la costa central de Perú (1 estación transmisora y 5 estaciones de recepción).

3) Los detalles sobre el radar SIMONE Perú se pueden encontrar en Chau et al. (2021).



Modelo WACCM-X

- WACCM-X (Whole Atmosphere Community Climate Model - eXtended) es un modelo numérico completo de la atmósfera que se extiende desde la superficie de la Tierra hasta la Termósfera (~ 500 km en altura). Este modelo incluye procesos físicos, y datos de reanálisis.
- Se enfoca en estudiar:
 - El impacto solar en la atmósfera de la Tierra,
 - Acoplamiento entre las capas de la atmósfera a través de procesos químicos, físicos y dinámicos.
 - Implicaciones del acoplamiento para el clima y para el entorno del espacio cercano.
- El desarrollo del modelo es multi colaboración entre instituciones que unifica diferentes aspectos del modelado de
 - La atmósfera superior de HAO,
 - El modelado de la atmósfera media de ACOM y
 - El modelado troposférico de CGD,

Referencias:

[WACCM-X | High Altitude Observatory \(ucar.edu\)](https://ucar.edu)

Pedatella et al. (2021)

Metodología Análisis wavelet

Serie de tiempo simulada

$$v(t) = v1(t) + v2(t)$$

$v1(t)$: Tren de ondas de periodo $T = 1$ día, y amplitud $A = 20$

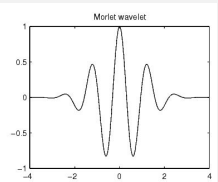
$v2(t)$: Tren de ondas de periodo $T = 8$ días, y amplitud $A = 40$

FT (Transformada de Fourier)

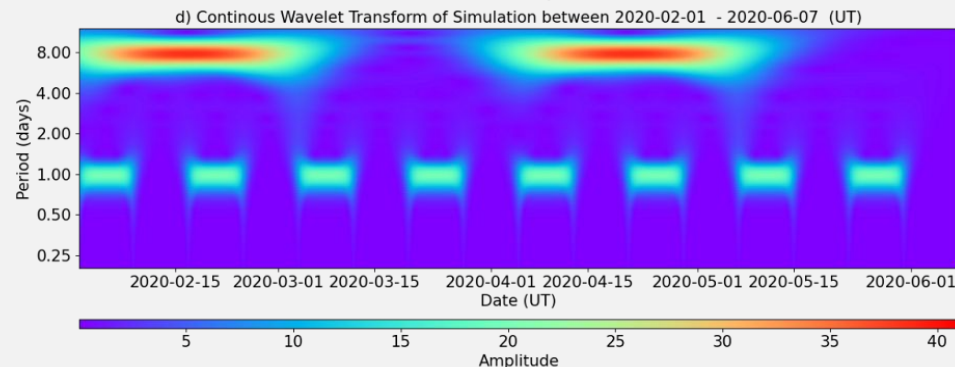
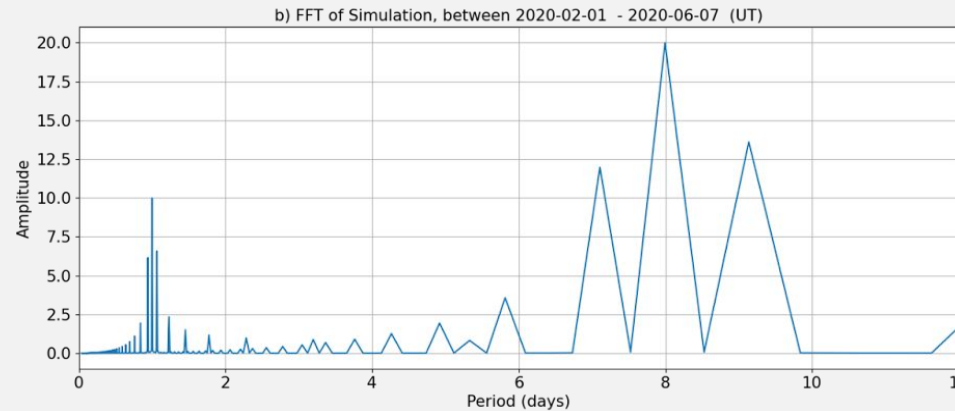
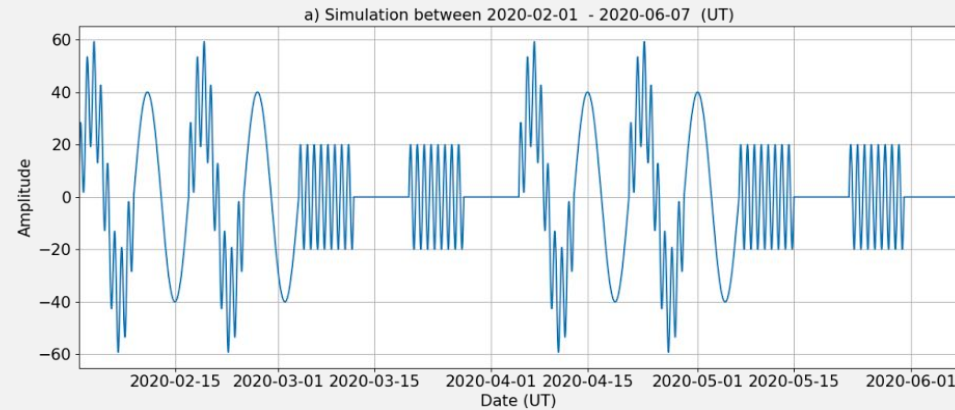
$$FT(f) = \langle x, e^{j2\pi ft} \rangle = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) e^{-j2\pi ft} dt.$$

CWT (Transformada Wavelet Continua)

$$WT(s, t) = \langle x, \psi_{s,t} \rangle = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t') \frac{1}{\sqrt{s}} \psi^* \left(\frac{t' - t}{s} \right) dt'$$



- Wavelet Morlet (n=6)
- Escalas: Potencias de 2
- Mínima escala: 1 hora



Metodología

Mínimos cuadrados (LES)

Expansión de la serie de tiempo para M armónicos.



Resolución del sistema lineal.

$$\mathbf{x}_{Nx1} = \mathbf{D}_{Nx2M+1} \mathbf{z}_{2M+1x1}$$



Obtención de amplitud y fase de los armónicos.

$$\begin{aligned} x(t_n) &= \bar{x} + \sum_{q=1}^M C_q \cos(2\pi f_q t_n - \phi_q) + x_r(t_n) \\ &= \bar{x} + \sum_{q=1}^M [A_q \cos(2\pi f_q t_n) + B_q \sin(2\pi f_q t_n)] + x_r(t_n) \end{aligned}$$

$$\begin{bmatrix} x_{m_1} \\ x_{m_2} \\ \vdots \\ x_{m_{N-1}} \\ x_{m_N} \end{bmatrix}_{Nx1} = \begin{bmatrix} 1 & \cos\left(\frac{2\pi}{T_1}t_1\right) & \sin\left(\frac{2\pi}{T_1}t_1\right) & \cdots & \cos\left(\frac{2\pi}{T_M}t_1\right) & \sin\left(\frac{2\pi}{T_M}t_1\right) \\ 1 & \cos\left(\frac{2\pi}{T_1}t_2\right) & \sin\left(\frac{2\pi}{T_1}t_2\right) & \cdots & \cos\left(\frac{2\pi}{T_M}t_2\right) & \sin\left(\frac{2\pi}{T_M}t_2\right) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 1 & \cos\left(\frac{2\pi}{T_1}t_{N-1}\right) & \sin\left(\frac{2\pi}{T_1}t_{N-1}\right) & \cdots & \cos\left(\frac{2\pi}{T_M}t_{N-1}\right) & \sin\left(\frac{2\pi}{T_M}t_{N-1}\right) \\ 1 & \cos\left(\frac{2\pi}{T_1}t_N\right) & \sin\left(\frac{2\pi}{T_1}t_N\right) & \cdots & \cos\left(\frac{2\pi}{T_M}t_N\right) & \sin\left(\frac{2\pi}{T_M}t_N\right) \end{bmatrix}_{Nx2M+1} \begin{bmatrix} A_0 \\ A_1 \\ B_1 \\ \vdots \\ A_M \\ B_M \end{bmatrix}_{2M+1x1}$$

$$\begin{aligned} C_q &= (A_q^2 + B_q^2)^{1/2} \\ \phi_q &= \tan^{-1}(B_q/A_q) \end{aligned}$$

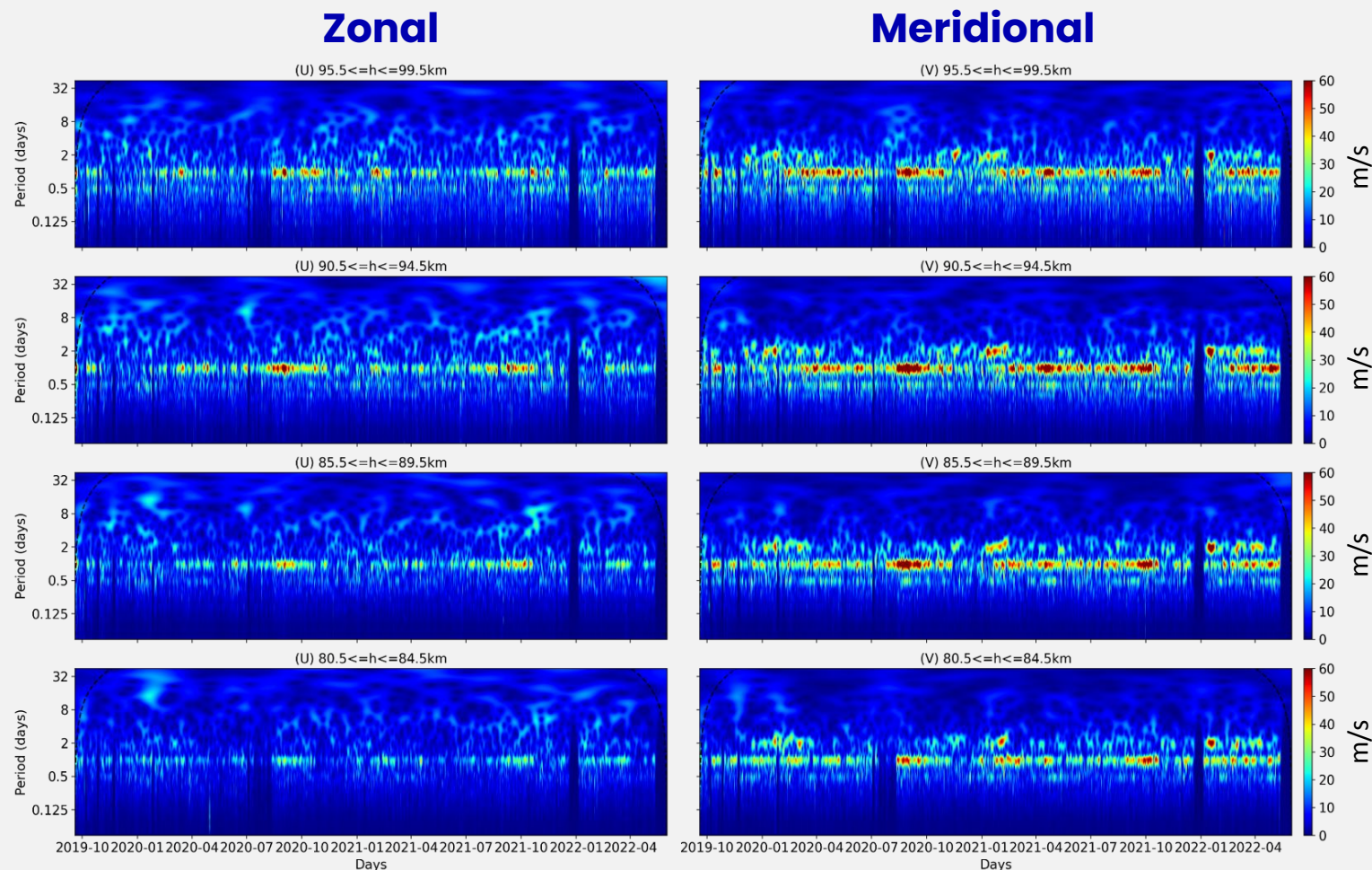
Resultados

Presencia de Mareas Atmosféricas y Ondas Planetarias

Módulo de la transformada wavelet normalizada

Se observa:

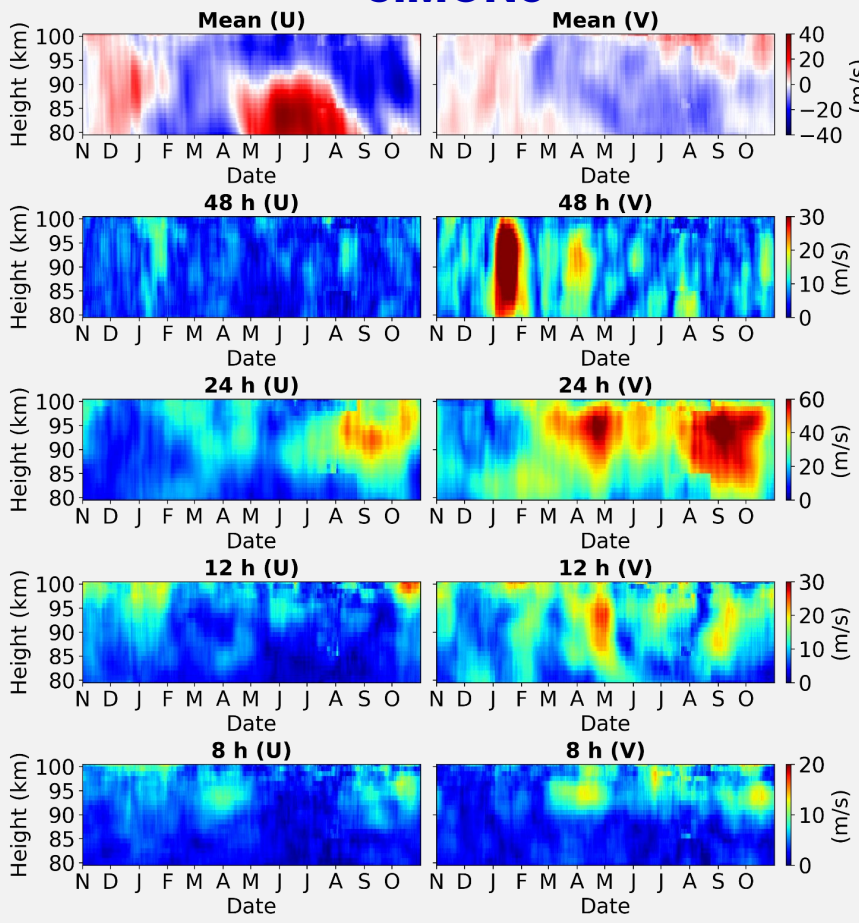
- La presencia dominante de la marea solar diurna.
- La presencia de marea solar semidiurna (12 h), terdiurna (8 h), ondas planetarias Q2D (48h) y otras de períodos mayores (cuasi-5 días, cuasi-10 días y cuasi-16 días).
- La componente zonal presenta mayor presencia en ondas planetarias que la componente meridional para periodos mayor a 2 días.



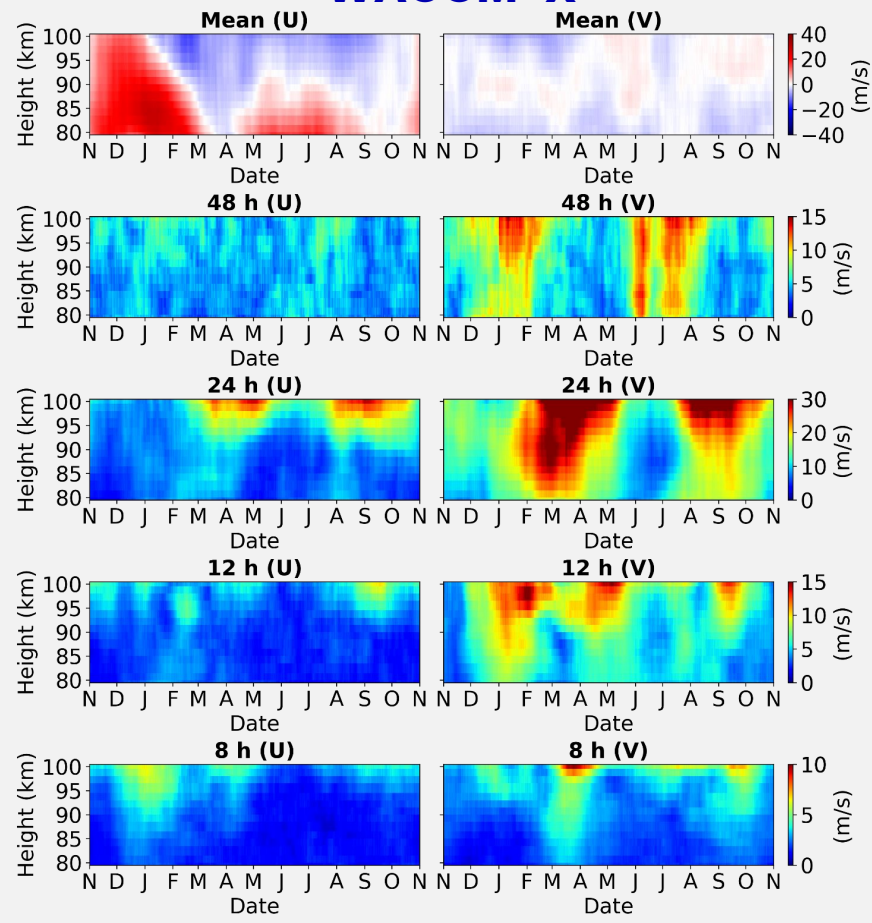
Resultados

Climatología obtenida usando LES con ventana = 21 días

SIMONE



WACCM-X



Correlación y proporción

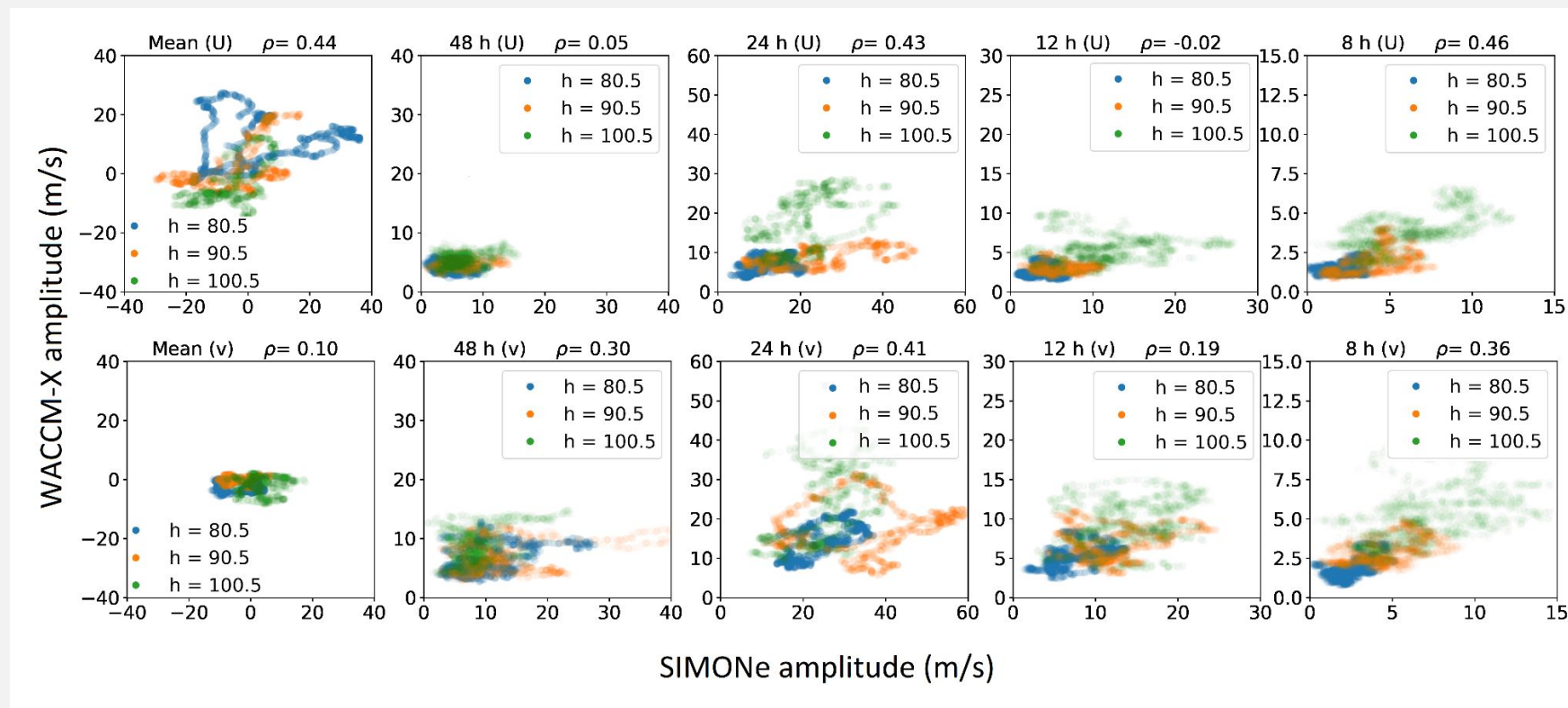
	Zonal		Meridional	
	Correlación	Proporción	Correlación	Proporción
Viento de fondo	0.44	1.4	0.10	3.0
Q2D PW	0.05	1.3	0.30	1.7
Marea 24h	0.43	2.1	0.41	1.9
Marea 12h	-0.02	2.2	0.19	1.7
Marea 8h	0.46	1.9	0.36	1.7
	0.27	1.8	0.27	2.0

- 1) En general, la marea diurna es más intensa que la marea semidiurna, - Las componentes meridionales son más intensas que las zonales. Además, las observaciones muestran amplitudes más altas que el modelo.
- 2) Las observaciones muestran que Q2D tiene el módulo máximo en los meses locales de verano (principalmente enero), mientras que el modelo además del verano local, muestra amplitudes significativas en los meses de invierno (junio y julio).
- 3) Las observaciones muestran que la marea de 24 horas tiene la máxima intensidad entre agosto y septiembre, y un segundo pico en abril, pero el modelo muestra dos picos máximos similares, el primero entre agosto y septiembre, y el segundo entre febrero y abril.

Resultados

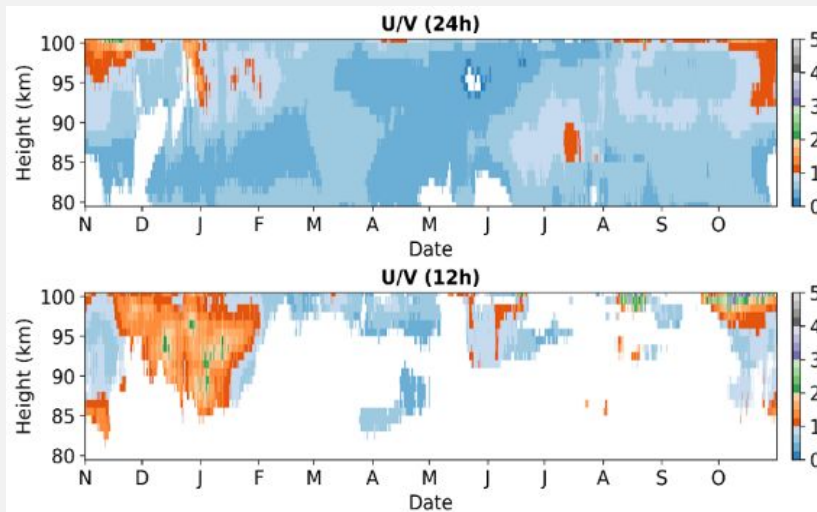
Amplitudes de SIMONe vs WACCM-X

La correlación disminuye con el incremento de la altura (se tiene mayor dispersión)



Resultados

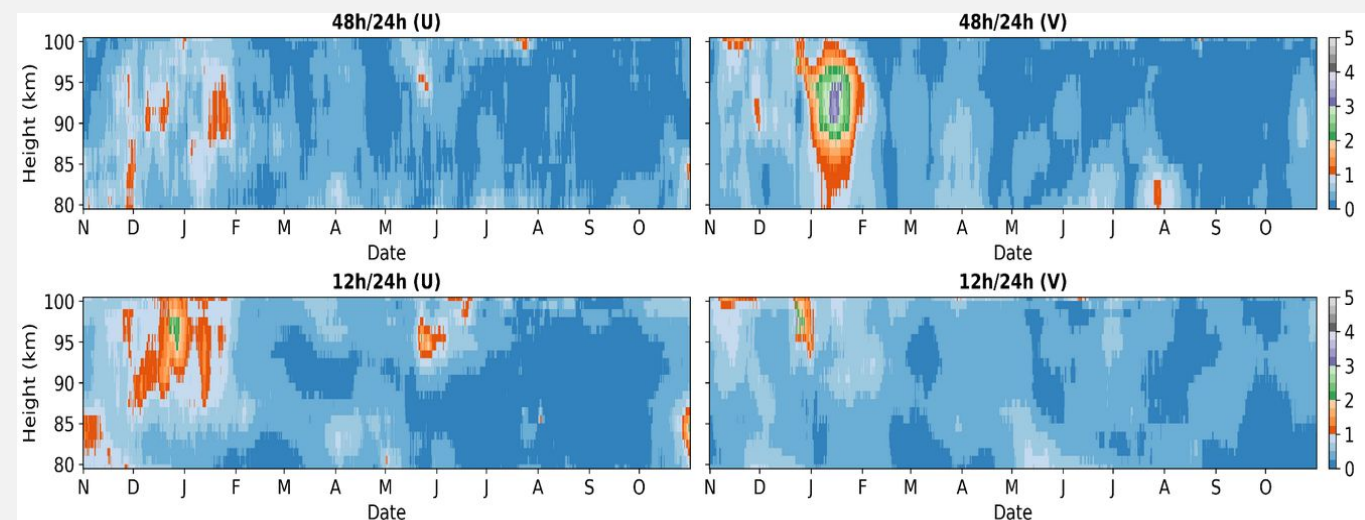
Proporción de amplitudes



ZONAL/MERIDIONAL (U/V)

24 h: **Proporción 1 - 2**, para los días desde el 15 de octubre hasta el fin de noviembre entre 93 y 100 km.

12 h: **Proporción 1 - 2.5**, para los meses de diciembre y enero entre 85 y 100 km. También se observa una proporción entre 1 y 2.5 en el mes de octubre para alturas entre 95 y 100 km.



MERIDIONAL (V):

48h/24h: **Proporción 1 - 3.5**, en enero para alturas entre 83 y 100 km.

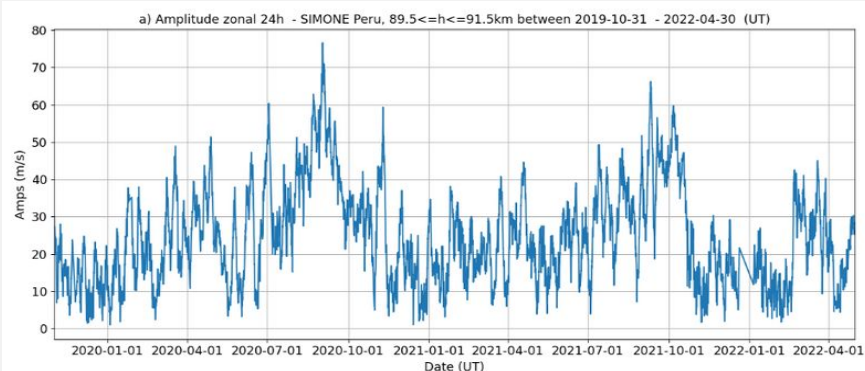
ZONAL (U):

12h/24h: **Proporción 1 - 2.5**, en diciembre y primeros días de enero para alturas entre 88 y 100 km.

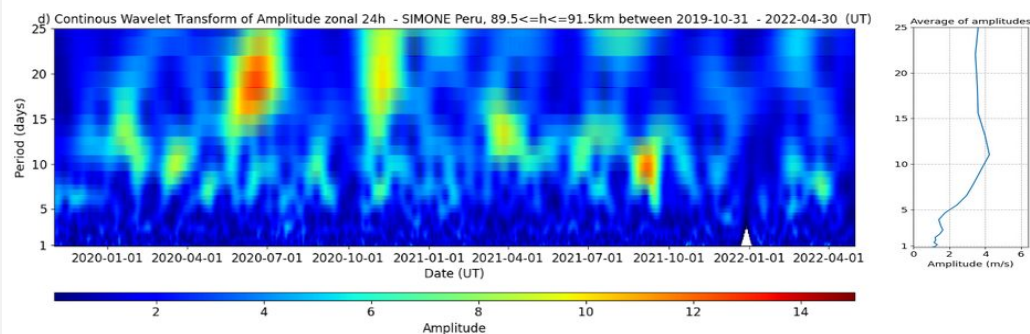
Resultados

Variabilidad a corto plazo de las amplitudes de la marea de 24h

Zonal 24h

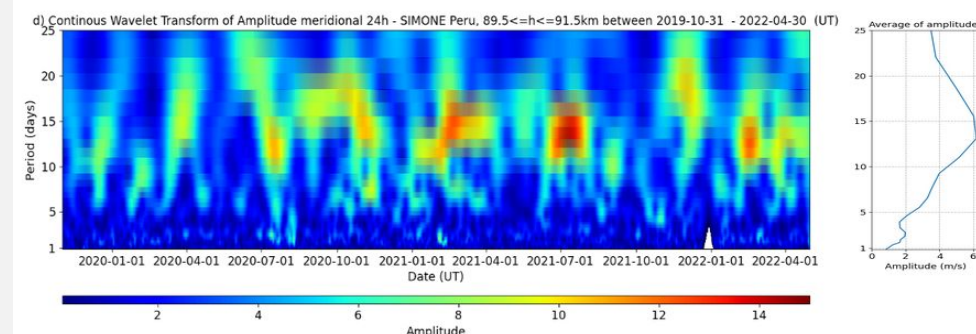
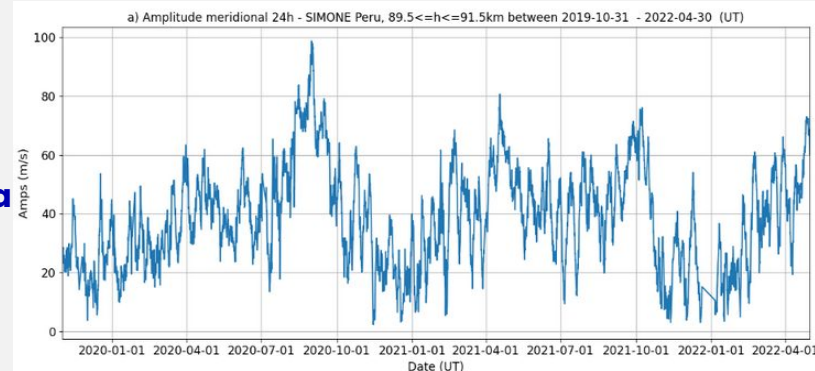


Amplitudes
obtenidas
usando LES
con ventana
= 4 días



Componente zonal 24h: Se observa la presencia de periodos de 3 días, 8-12 días, 13-16 días y 18-22 días

Meridional 24h

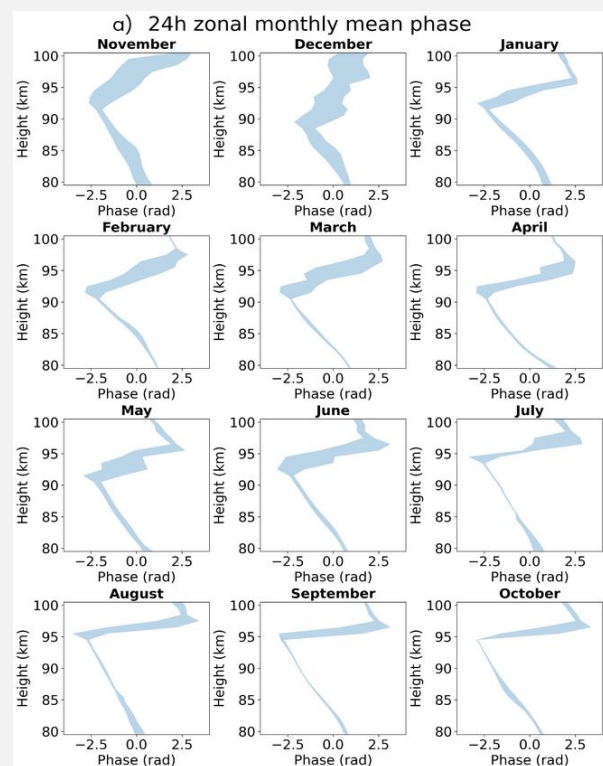


Componente meridional 24h: Se observa la presencia de periodos 3 días, 6-9 días, 11-16 días y 18-22 días.

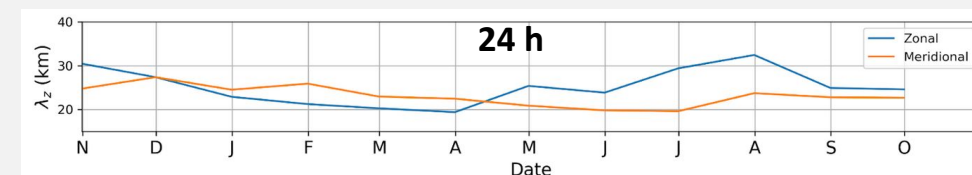
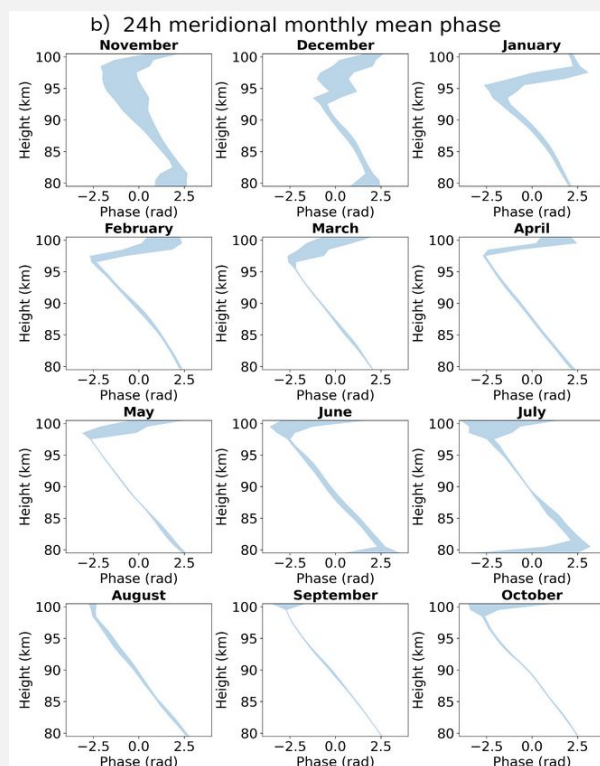
Resultados

Perfil de fases y longitud de onda vertical de la marea de 24h

Zonal 24h



Meridional 24h



- Usualmente los perfiles de fase muestran una marea 24h con comportamiento decreciente en altura lo cual indica propagación vertical y ascendente.
- En general, valores similares de la longitud de onda vertical fueron obtenidos para las componentes zonal y meridional. Estos estuvieron entre 18 y 32 km.

Conclusiones y trabajo futuro

1) Se ha obtenido la climatología del viento de fondo y de las mareas atmosféricas solares (de periodos 8, 12 y 24 horas) y onda planetaria Q2D (cuasi-dos días) en la región MLT a partir de los vientos medidos con la red de radares SIMONe Perú (Jicamarca). En general, la marea 24h es la más intensa, y la componente meridional es más intensa que la componente zonal. La onda planetaria Q2D alcanza su máxima intensidad en los meses de verano local, principalmente en enero (80-100 km) y un segundo pico entre el 15 de marzo y el 15 de abril (86-96 km). La marea 24h alcanza su máxima intensidad entre agosto y septiembre (83-99 km), y un segundo pico en abril (85-99 km). El mínimo de intensidad ocurre en noviembre y diciembre. Para la componente meridional de la marea 12 h, la máxima amplitud ocurre entre la quincena de abril hasta los primeros días de mayo (85-97 km). Para la componente zonal de la marea 12h, un máximo es observado en octubre (95-100 km), además un incremento de amplitud es observado en enero (90-100 km). Para las componentes zonal y meridional de la marea de 8h, se observaron incrementos por encima de los 90 km. El máximo valor alcanzado en la componente meridional ocurre entre marzo y abril, así como en octubre, posiblemente relacionados con los equinoccios. La componente zonal del viento de fondo muestra un periodo cuasi-semestral (cuasi-anual) por debajo (arriba) de 90km. Un periodo cuasi-anual es observado en el viento de fondo meridional. El viento de fondo zonal más intenso hacia el este ocurrió durante el mes de junio (80-86 km), posiblemente relacionado al solsticio de invierno.

Conclusiones y trabajo futuro

- 2)** Se ha comparado la climatología observacional con una climatología obtenida con el modelo de circulación general WACCM-X. En esta comparación, en general se encontró una correlación baja positiva. En promedio, se tiene una correlación de 0.27 para la componente zonal y 0.27 para la componente meridional. Las mayores correlaciones se alcanzaron para las componentes zonal y meridional de las mareas 24h, y para la componente zonal de la marea 8h y del viento medio. Por otro lado, la menor correlación se obtuvo para la componente zonal de la onda planetaria Q2D y de la marea 12h. Las observaciones muestran mayores amplitudes que el modelo, en promedio se tiene una proporción 1.8 para la componente zonal y 2.0 para la componente meridional.
- 3)** Se han implementado los métodos de análisis wavelet y mínimos cuadrados. Mínimos cuadrados requiere conocer previamente las componentes armónicas dominantes y puede lidiar con la data faltante. Análisis wavelet permite obtener de una forma localizada la variabilidad de todas sus componentes armónicas, además tiene un menor tiempo de procesamiento respecto a mínimos cuadrados, aunque se puede ver afectado por la data faltante.
- 4)** Como trabajo futuro se plantea obtener la climatología de otras latitudes donde se tenga instalado sistemas SIMONE como por ejemplo SIMONE Piura. Además, estudiar los residuos del viento luego de extraer la contribución de las mareas y ondas planetarias.

Referencias

- [1] Chau, J. L., Urco, J. M., Vierinen, J. P., Volz, R. A., Clahsen, M., Pfeffer, N., y Trautner, J. (2019). Novel specular meteor radar systems using coherent mimo techniques to study the mesosphere and lower thermosphere. *Atmospheric Measurement Techniques*, 12(4), 2113–2127.
- [2] Chau, J. L., Urco, J. M., Vierinen, J., Harding, B. J., Clahsen, M., Pfeffer, N., ... & Erickson, P. J. (2021). Multistatic specular meteor radar network in Peru: System description and initial results.
- [3] Conte, J. F., Chau, J. L., Stober, G., Pedatella, N., Maute, A., Hoffmann, P., Murphy, D. J. (2017). Climatology of semidiurnal lunar and solar tides at middle and high latitudes: Interhemispheric comparison. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 122(7), 7750–7760.
- [4] Lima, L. M., Paulino, A. R. S., Medeiros, A. F., Buriti, R. A., Batista, P. P., Clemesha, B. R., & Takahashi, H. (2007). First observation of the diurnal and semidiurnal oscillation in the mesospheric winds over São João do Cariri-PB, Brazil. *Revista Brasileira de Geofísica*, 25, 35–41.
- [5] Dempsey, S. M., Hindley, N. P., Moffat-Griffin, T., Wright, C. J., Smith, A. K., Du, J., & Mitchell, N. J. (2021). Winds and tides of the Antarctic mesosphere and lower thermosphere: One year of meteor-radar observations over Rothera (68° S, 68° W) and comparisons with WACCM and eCMAM. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 212, 105510.
- [6] Torrence, C., y Compo, G. P. (1998). A practical guide to wavelet analysis. *Bulletin of the American Meteorological society*, 79(1), 61–78.
- [7] Pedatella, N., Liu, H.-L., Conte, J., Chau, J., Hall, C., Jacobi, C., ... Tsutsumi, M. (2021). Migrating semidiurnal tide during the september equinox transition in the northern hemisphere. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 126(3), e2020JD033822.

**¡Gracias por su
atención!**