

# Redes Neuronales en la estimación de las derivas verticales diurnas ExB usando data de Magnetómetros en bajas latitudes

Juan Pablo Velásquez Ormaeche<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Radio Observatorio de Jicamarca, Instituto Geofísico del Perú,

<sup>2</sup>Pontificia Universidad Católica del Perú, Escuela de Posgrado.

# Introducción

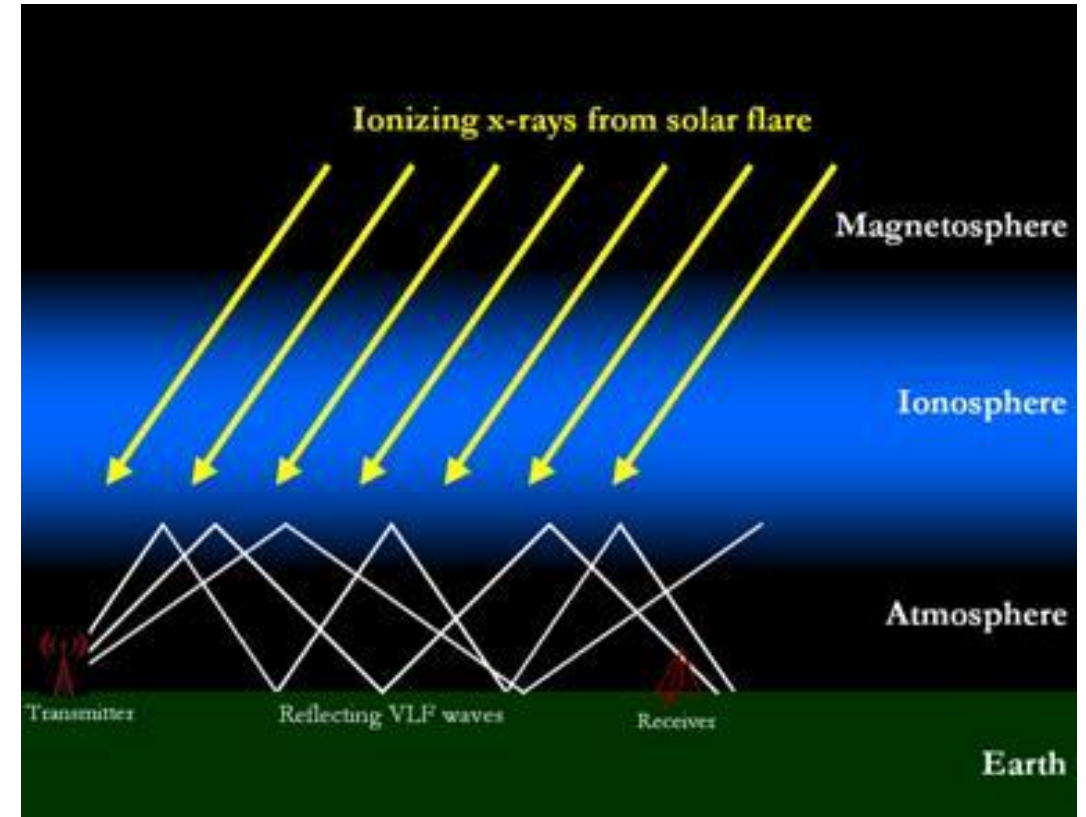
- Trabajo hecho originalmente por D. Anderson, A. Anghe, J. Chau y O. Veliz.
- Anderson D., Anghel A., Chau J., and Veliz O. (2004), "Daytime vertical  $E \times B$  drift velocities inferred from ground-based magnetometer observations at low latitudes", *Space Weather*, 2, S11001, doi:10.1029/2004SW000095.

# Contenido

- La ionosfera.
- El Radio Observatorio de Jicamarca.
- Electrodinámica de bajas latitudes
- Electrochorro Ecuatorial.
- Redes Neuronales (NN).
- NN para modelar la relación entre  $\Delta H$  y las derivas verticales  $E \times B$ .
- Resultados.
- Conclusiones.

# La Ionosfera

- Primera transmisión trasatlántica de radio: G. Marconi en 1901, desde Cornwall, UK hasta Newfounlad, Canadá.
- Kenelly y Heaviside (independientemente): curvatura de la tierra, capa electrificada en la atmósfera superior que sirva de guía de ondas para las señales.
- Watson-Watt, en 1926, acuñaron el término Ionosfera.



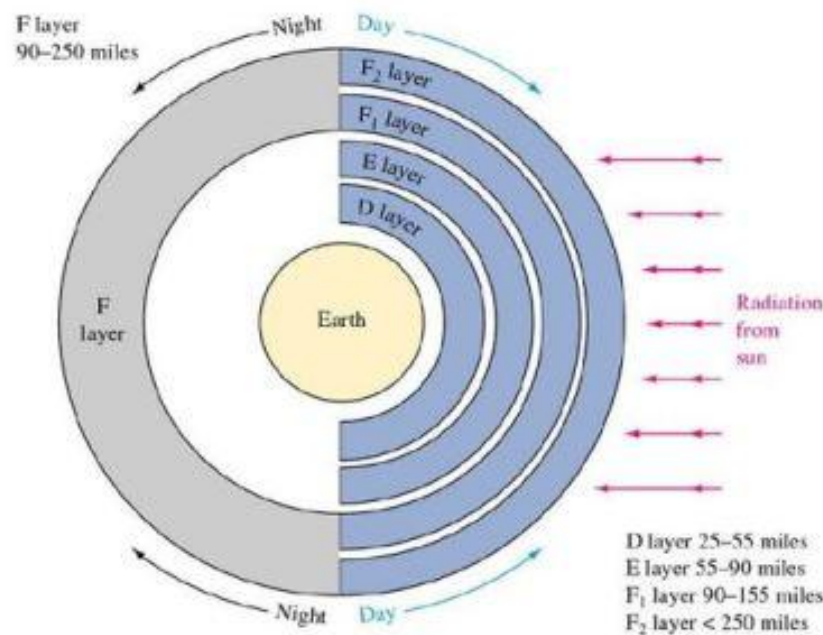
# La Ionosfera

- Capa superior de la atmósfera (70 y 1000 km de altura), bajo constante exposición a radiación solar (EUV y rayos-X), lo que produce que parte de sus átomos neutros se ionicen ( $\sim 0.1\%$ ).
- Estas interacciones debidas al comportamiento corpuscular de la luz (fotones con energía  $h\nu$ ) a escalas subatómicas.
- Aparición de iones y electrones, que conviven con las demás moléculas neutras.
- Esto le otorga su nombre a esta región: la Ionosfera. Las reacciones más comunes son:



# La Ionosfera

- La estructura de la ionósfera cambia durante el día y la noche, debido a la ausencia/presencia de la radiación solar.
- Capas D: (34-90 km), capa E (90-150 km), capa  $F_1$  (150-250 km) y la capa  $F_2$  (< 400 km).
- Capa D desaparece durante la noche y  $F_1$  y  $F_2$  se fusionan una sola.





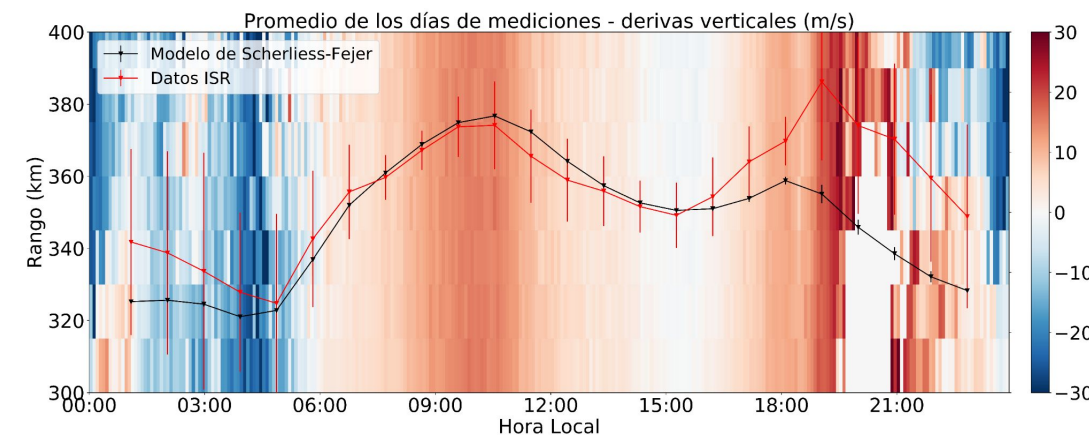
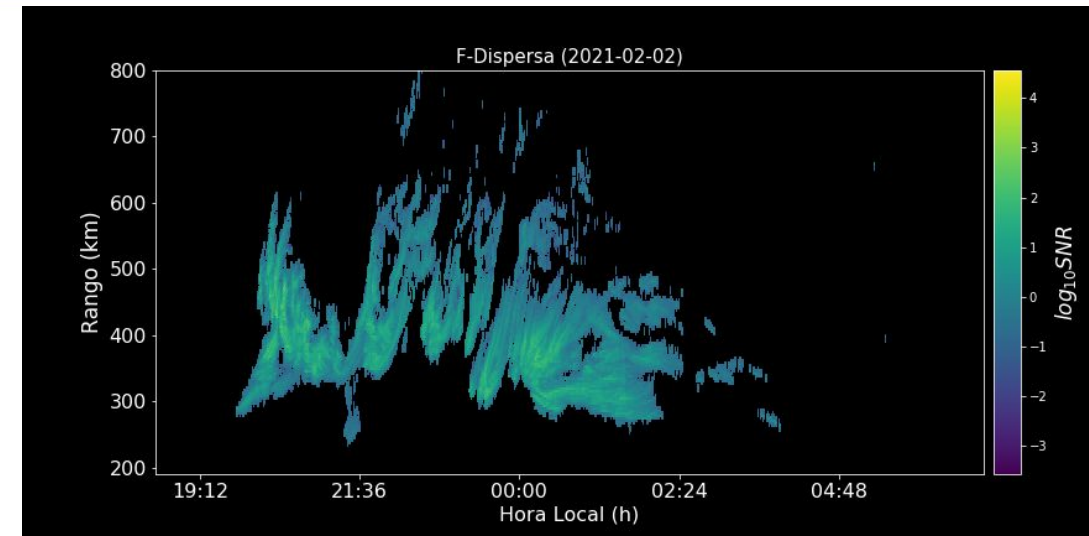
# El Radio Observatorio de Jicamarca

- El Radio Observatorio se construyó en una ubicación privilegiada para estudiar la ionósfera ecuatorial: en el Ecuador Magnético.
- El radar principal puede operar en dos modos fundamentales: modo coherente (o fundamental) y modo incoherente.
- Coherente: Reflejos coherentes (similar fase y amplitud a la señal emitida). Se estudia un "blanco" grande.
- Incoherente: se estudian las partículas (temperatura,



# El Radio Observatorio de Jicamarca

- El modo incoherente nos permite realizar mediciones de densidad volumétrica de electrones, temperatura de electrones y iones (y sus concentraciones).
- El modo coherente, o de baja potencia, busca estructuras de unos pocos a cientos de kilómetros.
- Dos de los fenómenos más importantes estudiados por el Observatorio son el Electrochorro Ecuatorial y Burbujas de Plasma.





# Electrodinámica de bajas latitudes

- La geometría de la ionósfera ecuatorial, donde **B** es horizontal, y la presencia de **E** (hacia el este) causa una corriente de Hall hacia abajo (electrones ascendiendo) que polariza la región E, creando campo eléctrico secundario hacia arriba (flecha roja).
- Este campo eléctrico (flecha roja) produce una corriente  $e\mathbf{E} \times \mathbf{B}$  hacia el este que es de 5 a 10 veces más grande que el que lo originó (flecha amarilla) y es el responsable del Electrochorro Ecuatorial (electrones con velocidad  $\mathbf{v} = \mathbf{E} \times \mathbf{B} / B^2$  hacia el este).

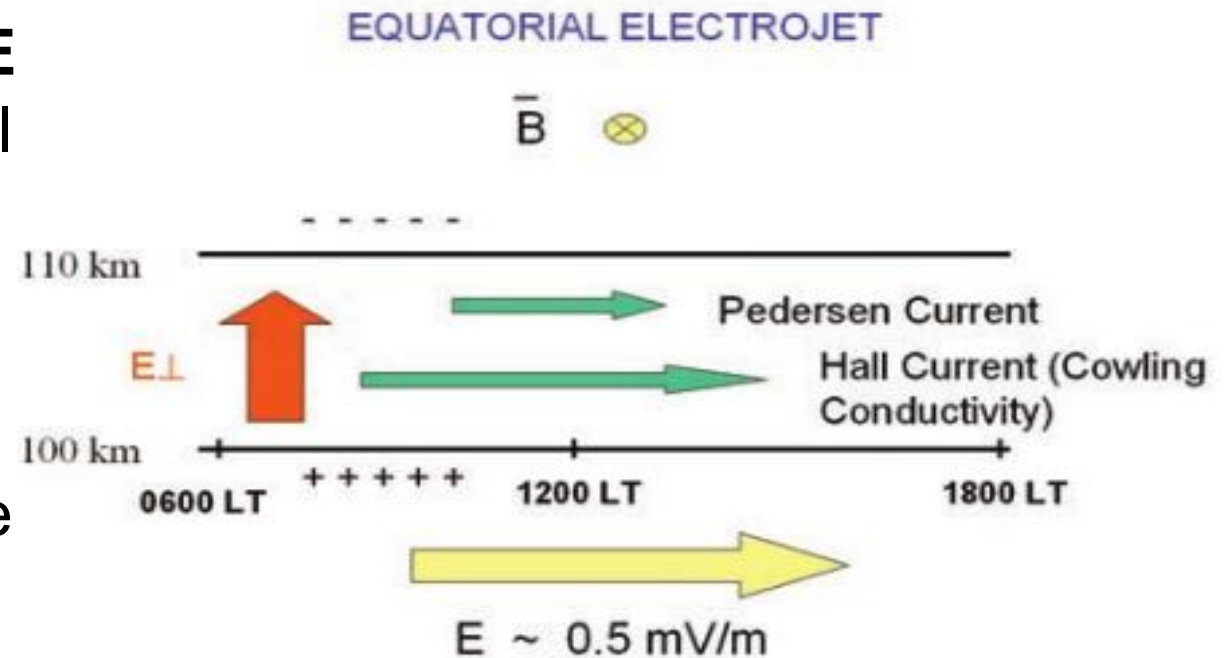
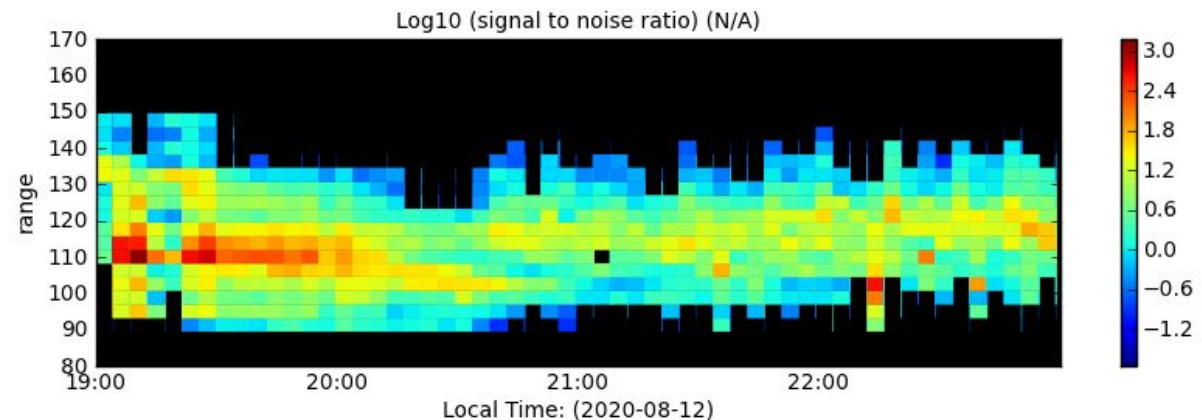
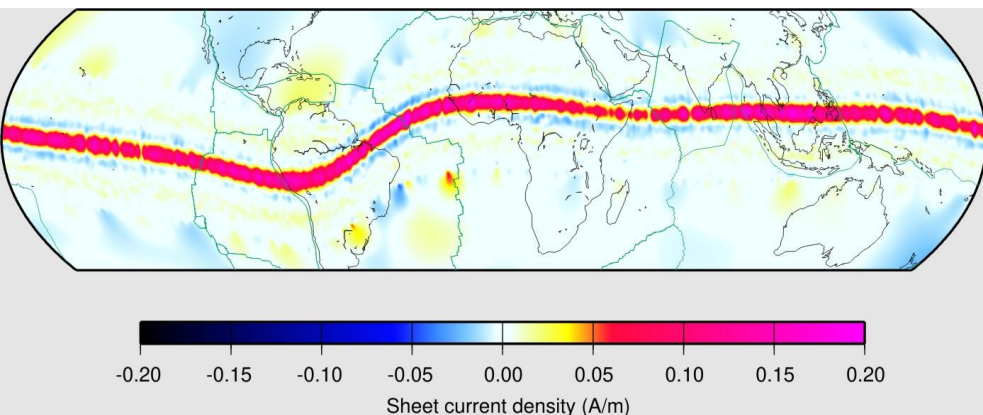


Figura extraída del paper de D. Anderson, A. Anghe, J. Chau y O. Veliz.

# Electrochorro Ecuatorial (EEJ)

- EEJ (*Equatorial Electro Jet*) es una corriente global que circula a 100 km de altitud, centrada en el ecuador magnético y con un ancho de  $2^\circ$ .
- Esta corriente produce un aumento en el componente H (componente horizontal del campo geomagnético) medido por los observatorios ubicados en la zona comprendida entre  $\pm 5^\circ$  del ecuador magnético.



# Relación entre EEJ

- Mediciones hechas en el Observatorio Geomagnético de Huancayo (Andes centrales de Perú) en 1920 mostraron una relación entre el comportamiento del EEJ y las mediciones de los magnetómetros.
- No fue hasta 1990 (Rastogi y Klobuchar), que se propuso y probó un método para medirlas.
- El método se basa en sustraer al valor de  $H$  medido en un observatorio magnético ubicado en el ecuador magnético el valor medido en otro observatorio a  $6^\circ$ -  $9^\circ$  del mismo y compararlo con la intensidad de la velocidad  $\mathbf{ExB}$ .

# Relación entre EEJ

- Esto debido a que las mediciones de cada estación contiene cambios  $\Delta H$  debidos al campo magnético planetario.
- Estos cambios planetarios son sustraídos cuando la diferencia  $\Delta H$  es tomada entre una estación ubicada en el ecuador magnético y otra, fuera de él.
- Los observatorios magnéticos que se utilizarán en este estudio están ubicados en Jicamarca ( $11.9^{\circ}\text{S}$ ,  $76.87^{\circ}\text{W}$ ) y Piura ( $5.18^{\circ}\text{S}$ ,  $80.64^{\circ}\text{W}$ ).

# Redes Neuronales (NN)

## Conceptos sacados de Wilson (1998-2012).

- Una Red Neuronal Artificial (NN) son sistemas computacionales inspirados en redes neuronales biológicas, las que constituyen el cerebro animal (Chen2019).
- Una Red Neuronal está compuesta por nodos interconectados llamados 'neuronas artificiales', los que modelan vagamente a una neurona en un cerebro biológico.
- Una NN es una red que consiste de una colección de neuronas simuladas (nodos). Cada neurona es un nodo que está conectado con otros mediante relaciones que simulan simplificadaamente la sinapsis entre neuronas.

# Redes Neuronales (NN)

## Conceptos sacados de Wilson (1998-2012).

- La señal en una conexión se representa por un número real y es calculado por una función no lineal de las sumas de sus entradas. Las conexiones son llamados 'bordes'.
- Los pesos de las neuronas y los bordes (nodos y conexiones) son ajustados a medida que el proceso de entrenamiento avanza.
- Los pesos aumentan o disminuyen la magnitud de una señal en cada conexión.
- Cada conexión tiene un peso asociado y determina la magnitud con la que un nodo tiene influencia sobre otro.



# NN para modelar la relación entre $\Delta H$ y drifts ExB

## Conceptos sacados de Wilson (1998-2012).

- **Feed-forward Neural Networks** son de las arquitecturas más simples de redes neuronales y están compuestas por perceptrones (nodos con función de activación igual al escalón unitario) y tienen la capacidad de aproximar el comportamiento de funciones.
- Se crea un conjunto de entrenamiento con inputs conocidos y las salidas deseadas.
- Después de que todas las muestras hayan sido dadas a la red, sus pesos son ajustados según el **algoritmo de propagación inversa** (de la familia de métodos de **Gradiente Descendiente**), que minimiza el RMSE entre las salidas producidas por la red y las deseadas.

# NN para modelar la relación entre $\Delta H$ y drifts ExB

## Conceptos sacados de Wilson (1998-2012).

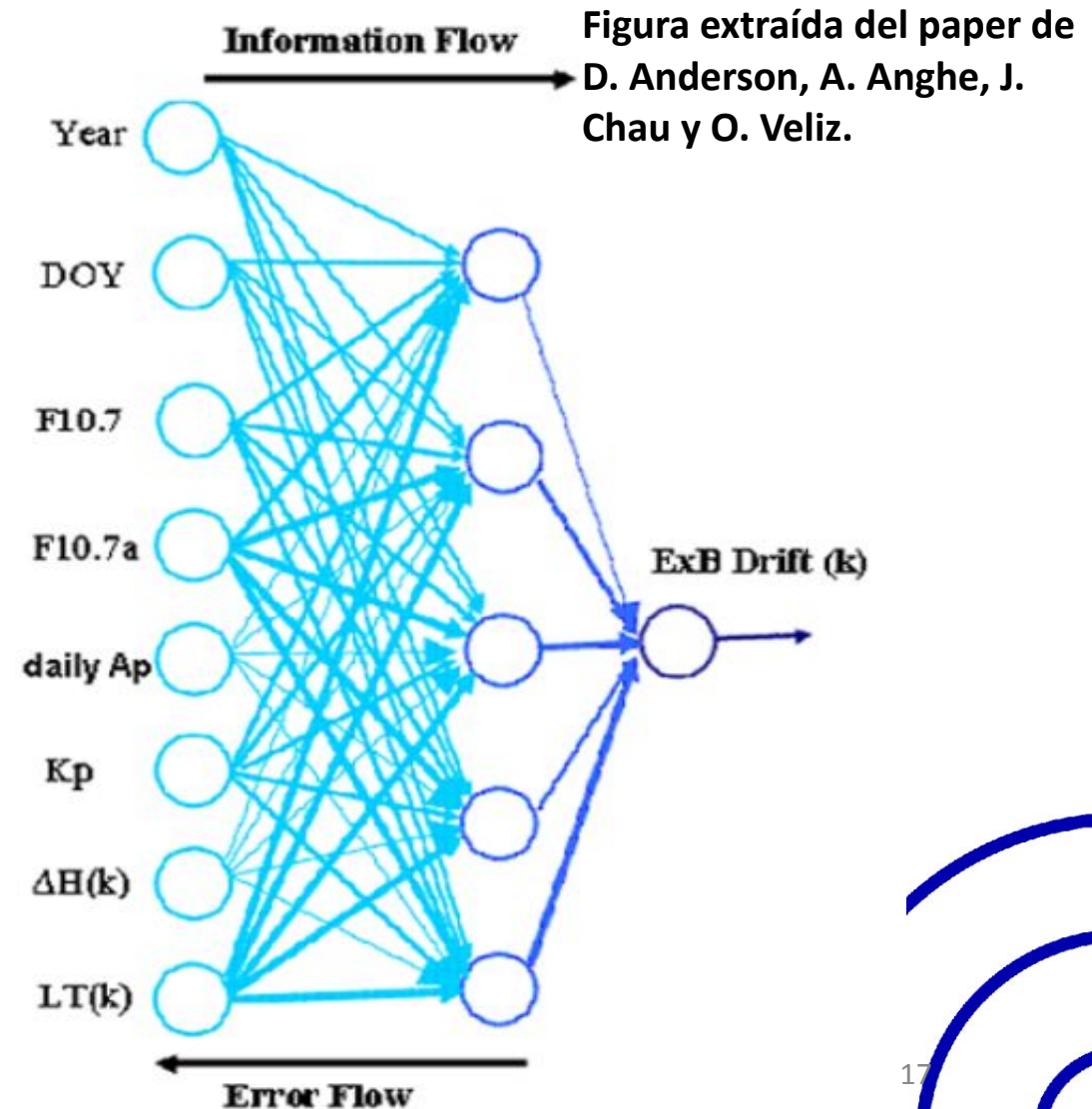
- La red guarda información en sus pesos y conexiones, por lo que entrenar consiste en modificar estos pesos para que la red obtenga resultados más cercanos a lo deseado.
- Se puede dividir el conjunto de entrenamiento en varios subconjuntos y a cada pasada por uno de estos subconjuntos, con el ajuste de pesos respectivo, se les llama una "**época**".
- Por cuestiones de simplicidad y conveniencia, se tomó todo el conjunto de entrenando para cada **época**.

# Arquitectura de la NN

- NN para modelar la relación no lineal entre las velocidades del drift ExB y los 8 inputs considerados: Año, día del año, 4 índices geomagnéticos (F10.7, F10.7A, Ap diario, kp), LT (hora local) y  $\Delta H$ .
- Conjunto de entrenamiento: 242 días de data entre el 2001 de Agosto y Setiembre del 2003 (13 570 muestras con data entre las 10 y 16 LT).

```
from keras import models, layers

model = models.Sequential()
model.add(layers.Dense(5, activation='relu', input_shape=[X_train.shape[1]]))
# output layer
model.add(layers.Dense(1))
```

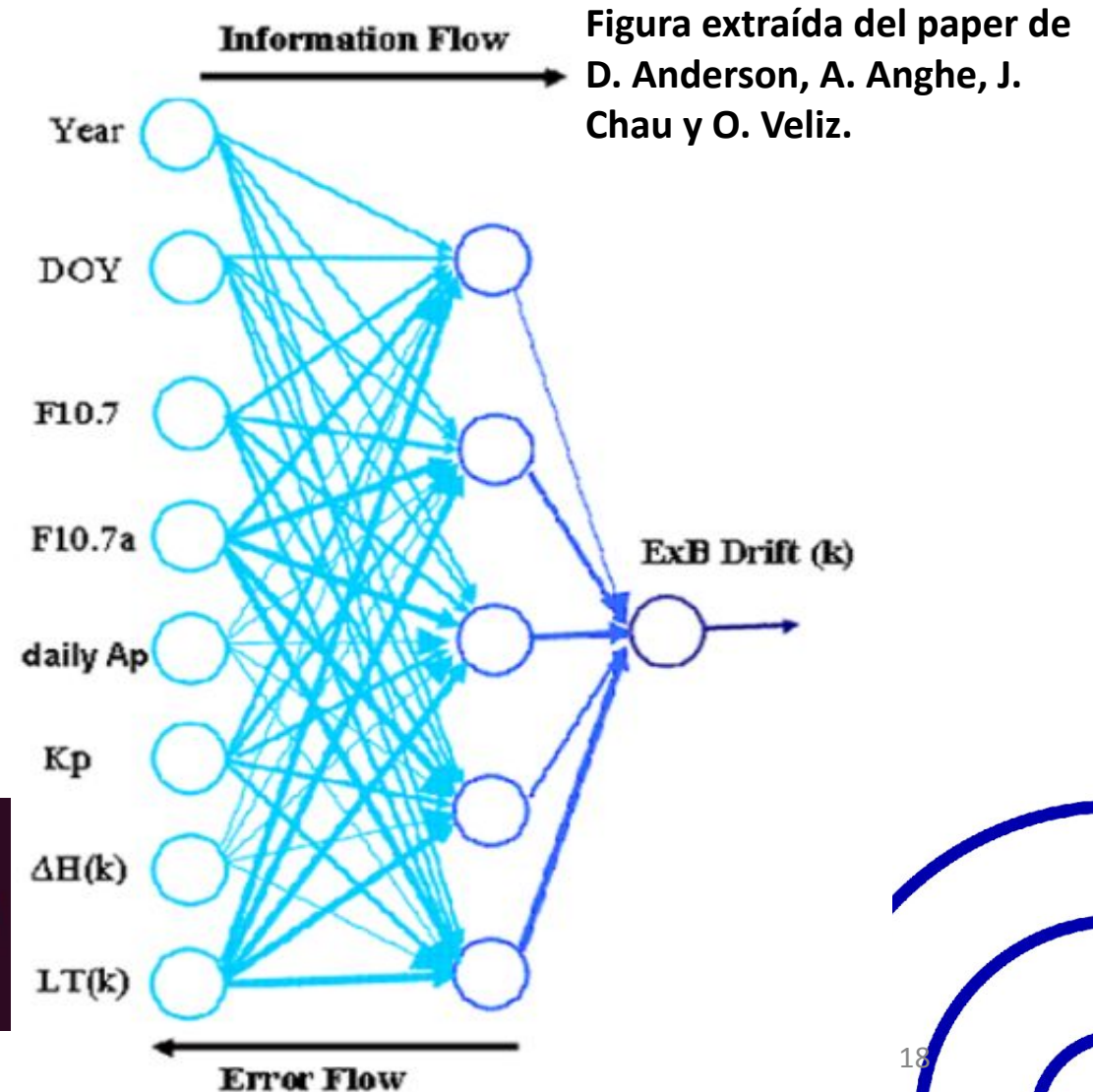


# Arquitectura de la NN

- Se hicieron pruebas con diferentes arquitecturas con una o dos capas escondidas y diferentes pesos iniciales sobre miles de épocas de entrenamiento y el menor error y tiempo de entrenamiento se obtuvo con una capa escondida con 5 neuronas (nodos).

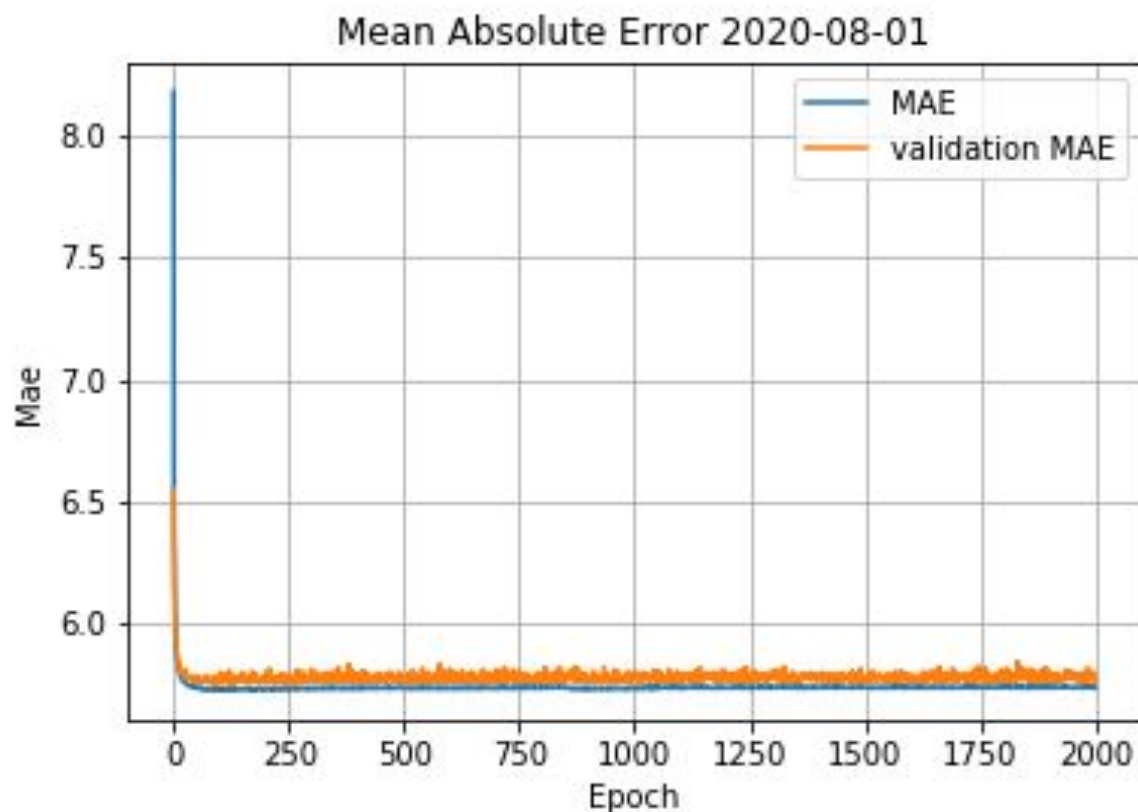
```
from keras import models, layers

model = models.Sequential()
model.add(layers.Dense(5, activation='relu', input_shape=[X_train.shape[1]]))
# output layer
model.add(layers.Dense(1))
```



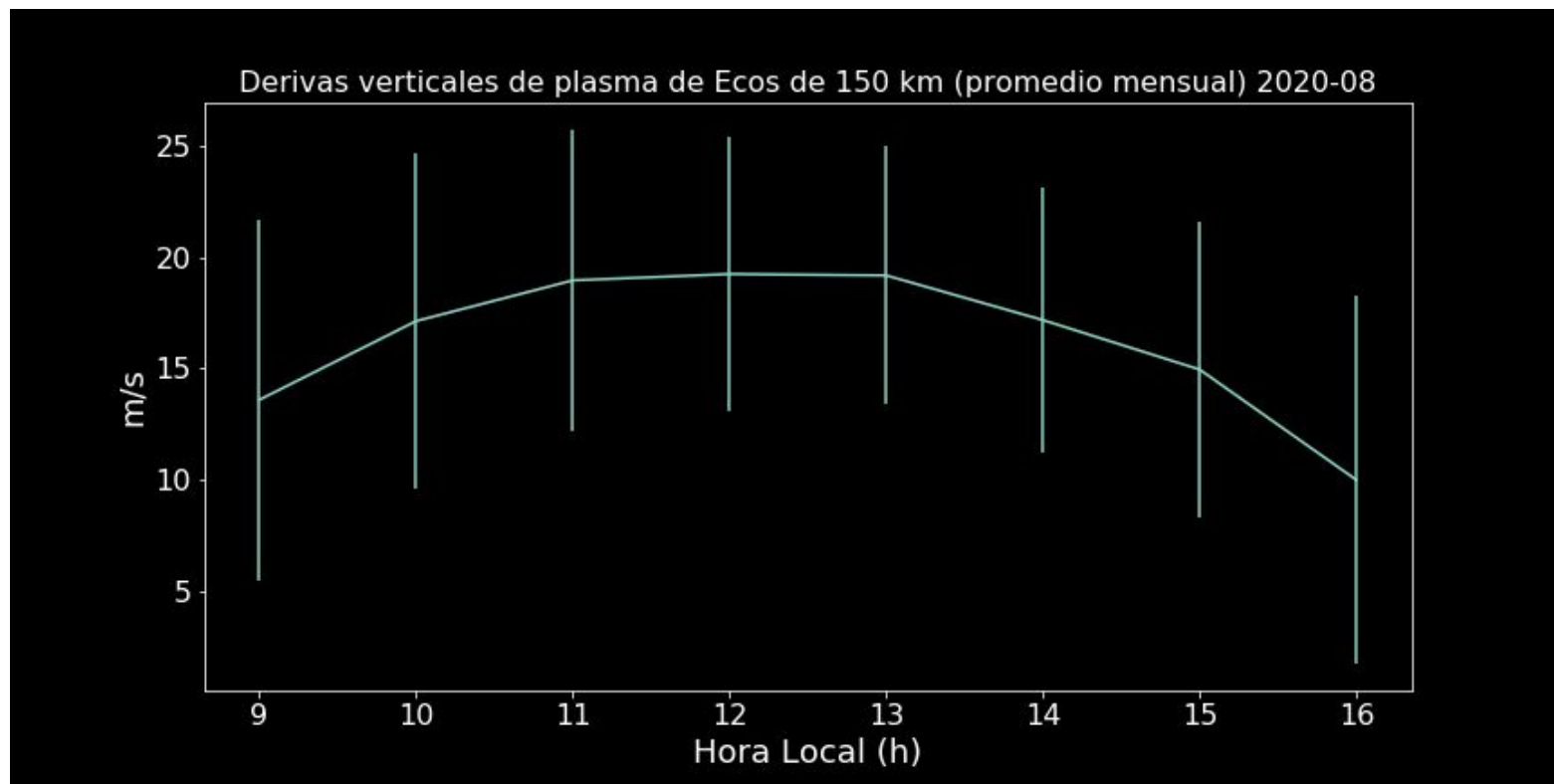
# Conjuntos de Entrenamiento y validación

- Data del 2002-01-01 al 2019-12-05.
- 80% de la data para entrenamiento y 20% para validación.
- Se tomaron de 2000 épocas.
- MAE para el las derivas verticales ***ExB*** alcanza el valor de 5.73 m/s.





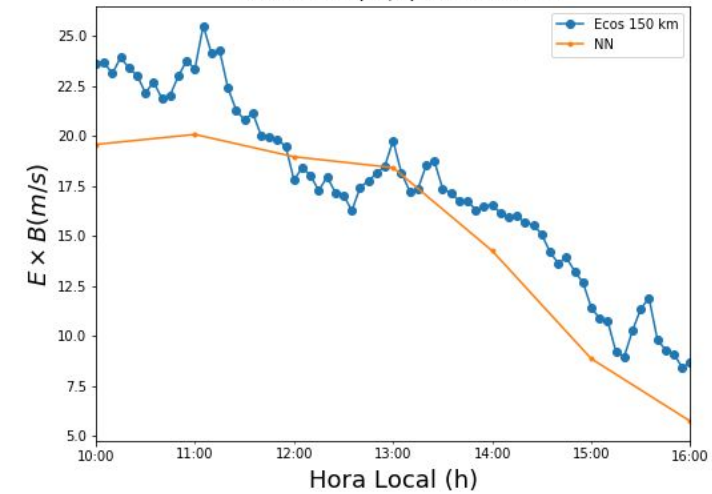
# Climatología de las Derivas Verticales ExB



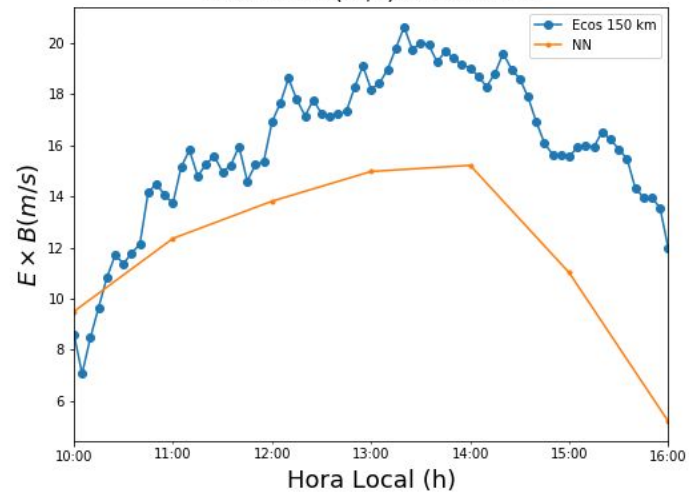


# Estimaciones de la NN

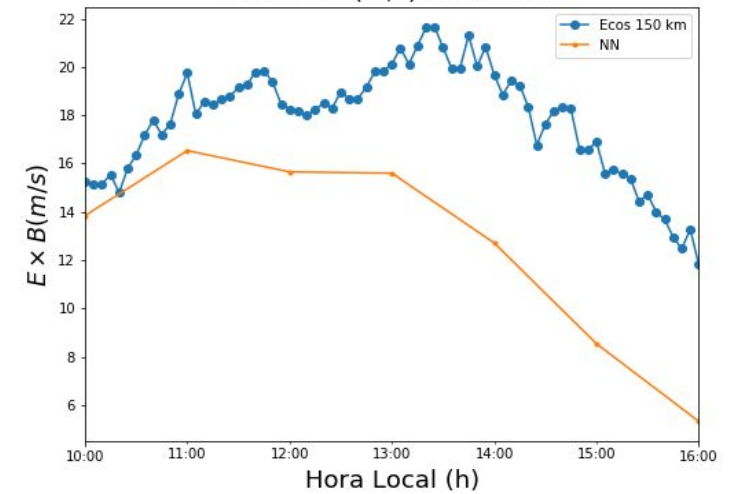
Drifts  $E \times B$ (m/s)-2020-08-05



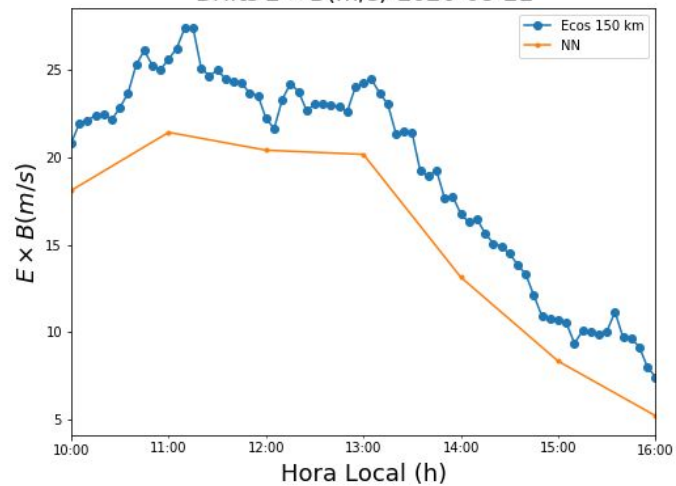
Drifts  $E \times B$ (m/s)-2020-08-10



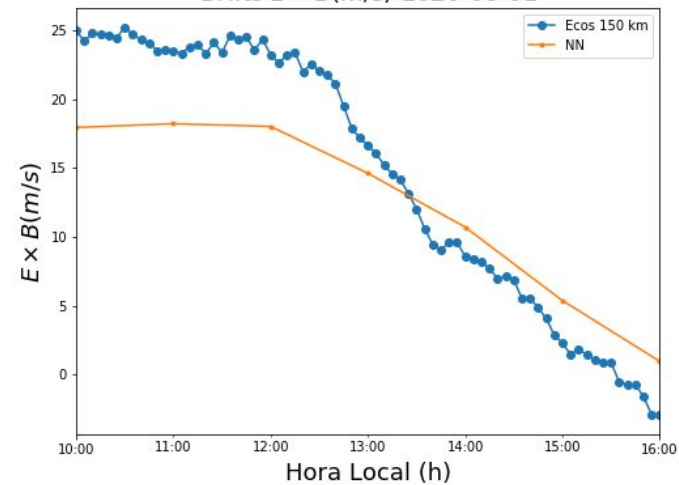
Drifts  $E \times B$ (m/s)-2020-08-21



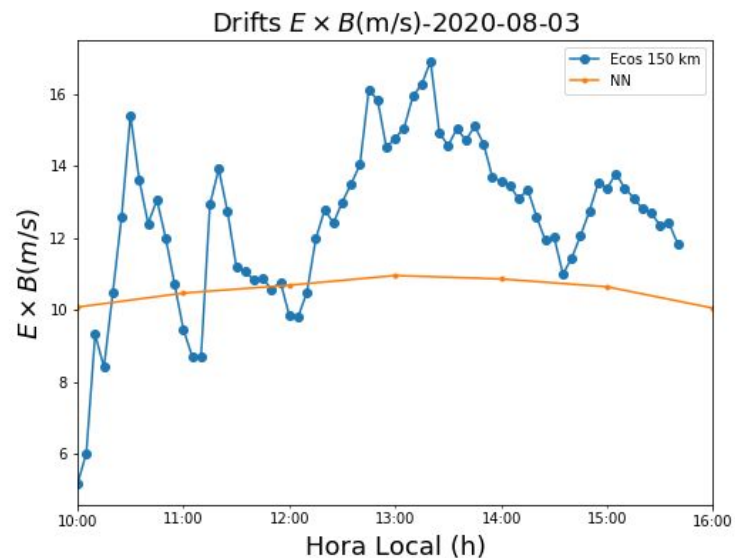
Drifts  $E \times B$ (m/s)-2020-08-22



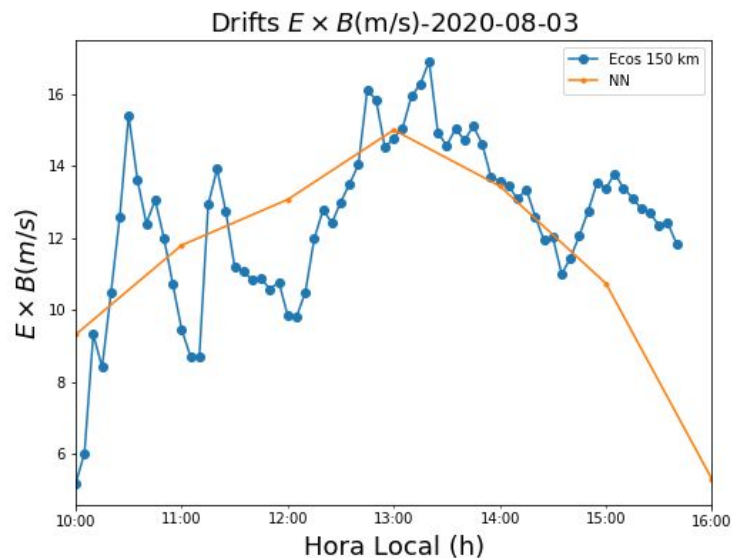
Drifts  $E \times B$ (m/s)-2020-08-01



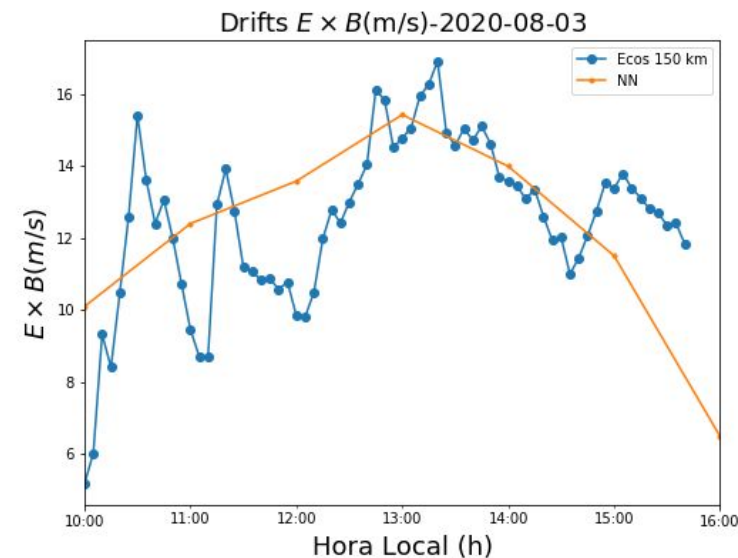
# Aumento del número de épocas



400 épocas



2k épocas



10k épocas

# Conclusiones y Futuros Pasos

- La red neuronal captura la forma de los Ecos, incluso da cuenta de su variabilidad diaria.
- Posibles discrepancias debidas a la falta de variables que den cuenta de la variabilidad diaria en el modelamiento (introducción de promedios diarios de índices geomagnéticos).
- Agregar  $k_p$  y F10.7a (promedio semanal).
- Cambiar métrica de MAE a RMSE.



¡Gracias!



*Ciencia para **protegernos***  
*Ciencia para **avanzar***