

Propuesta de Práctica Preliminar: Modelado de Viento para Honduras

Danna López, André Aguilar

23 de mayo de 2025

Resumen

Se presenta una propuesta para nuestra práctica profesional enfocada en el desarrollo de un modelo numérico preliminar para simular y desarrollar un modelo viento centrado en Honduras. Se utilizarán principios de la carrera de Astronomía y Astrofísica enfocados en la implementación de un modelo generando predicciones precisas aplicando los conocimiento de física de fluidos, conceptos primordiales de procesos radiativos. El objetivo es aplicar conocimientos teóricos y prácticos en Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) para obtener una comprensión inicial de la dinámica regional, con énfasis en la influencia topográfica. La implementación se realizará principalmente en Python.

1. Introducción y Justificación

Los patrones de viento en Honduras son de gran importancia para diversas actividades socioeconómicas y para la comprensión del clima regional. Entre sus aplicaciones se encuentran la evaluación del potencial de energía eólica, la agricultura (ej., dispersión de polen, necesidades de irrigación), la predicción de la dispersión de contaminantes atmosféricos, la gestión de riesgos asociados a fenómenos meteorológicos extremos (ej., influencia en la trayectoria de tormentas, propagación de incendios forestales) y la comprensión de los patrones de precipitación.

Esta práctica tiene como objetivo aplicar los conocimientos adquiridos en física de fluidos, dinámica de fluidos computacional (CFD) y programación para desarrollar un modelo numérico conceptual y simplificado capaz de simular y analizar patrones de viento en una región de Honduras. Si bien se cuenta con datos de precipitación, que son un indicador importante de la actividad atmosférica, este proyecto explorará su correlación con los vientos y se apoyará fundamentalmente en bases de datos atmosféricas de reanálisis para obtener las variables que impulsan directamente la dinámica del viento (presión, temperatura, vientos a gran escala) y datos topográficos.

La práctica buscará sentar las bases para una comprensión más profunda de la dinámica eólica local, utilizando herramientas de código abierto y técnicas fundamentales de modelado.

2. Objetivos

2.1. Objetivo General

Desarrollar un modelo numérico simplificado, basado en principios de la física de fluidos, para simular y analizar cualitativamente los patrones de viento en una región seleccionada de Honduras, considerando la influencia de la topografía y utilizando datos atmosféricos de reanálisis.

2.2. Objetivos Específicos

1. Investigar, adquirir y procesar datos atmosféricos relevantes para Honduras, incluyendo datos de reanálisis (ej., ERA5 para vientos, temperatura, presión), datos topográficos digitales (MDE), y los datos de precipitación disponibles.
2. Realizar un análisis exploratorio de los datos recopilados para identificar patrones climatológicos básicos de viento y precipitación, y explorar posibles correlaciones entre ellos.
3. Implementar un modelo 2D (o 3D simplificado) basado en las ecuaciones de Navier-Stokes (o ecuaciones de Euler como primera aproximación) utilizando Python y el método de diferencias finitas.
4. Incorporar la influencia de la topografía de la región seleccionada de forma simplificada dentro del modelo numérico.
5. Ejecutar simulaciones para casos de estudio representativos (ej., condiciones de viento promedio estacional).
6. Visualizar y analizar cualitativamente los resultados del modelo (campos de viento, presión), comparándolos con los patrones observados en los datos de reanálisis.
7. Documentar el proceso de desarrollo del modelo, los resultados obtenidos, las limitaciones y proponer líneas de trabajo futuro.

3. Metodología

El proyecto se desarrollará en las siguientes fases:

3.1. Fase 1: Revisión Bibliográfica y Adquisición de Datos

- Consulta de literatura recomendada sobre mecánica de fluidos atmosféricos, CFD, modelado de vientos en regiones tropicales y/o con topografía compleja, y meteorología de Honduras/Centroamérica.
- Descarga y preprocesamiento de datos de reanálisis ERA5 (viento U/V, temperatura, presión en superficie y diferentes niveles de altura) para el dominio de Honduras.
- Obtención de un Modelo Digital de Elevación (MDE) para Honduras (ej., SRTM, ASTER GDEM).
- Consolidación y formateo de los datos de precipitación disponibles para Honduras.

3.2. Fase 2: Análisis Exploratorio de Datos

- Utilización de Python (Pandas, NumPy, Matplotlib, MetPy, Cartopy) para el análisis y visualización de los datos.
- Cálculo y mapeo de climatologías básicas de viento (ej., rosas de los vientos, campos de viento promedio mensual/estacional a partir de ERA5).
- Análisis de patrones de precipitación y exploración de su relación con los campos de viento y presión de ERA5.

3.3. Fase 3: Desarrollo del Modelo Numérico Simplificado

- **Selección de una región de estudio:** Dentro de Honduras, con características topográficas de interés.
- **Formulación de las ecuaciones:** Se considerarán las ecuaciones de Navier-Stokes para flujo incompresible (utilizando la ecuación de Poisson para la presión) o las ecuaciones de Euler como una simplificación inicial. La precipitación no será un forzante directo del viento regional en esta etapa, sino que se usará para contextualizar los resultados.
- **Discretización:** Se utilizará el Método de Diferencias Finitas (FDM) sobre una malla cartesiana.
- **Implementación en Python:**
 - Definición de la malla computacional.
 - Establecimiento de condiciones iniciales (ej., a partir de ERA5 promediado) y condiciones de contorno (ej., entrada/salida basadas en ERA5, no deslizamiento en superficie).
 - Implementación del bucle de avance temporal y los esquemas de solución para las ecuaciones discretizadas.
- **Incorporación de la topografía:** Implementación de la topografía como una condición de contorno inferior (ej., usando una máscara de celdas o una aproximación de "escalera" para el terreno).

3.4. Fase 4: Simulación, Análisis de Resultados y Documentación

- Ejecución de simulaciones para casos de estudio (ej., flujo predominante promedio sobre la región seleccionada).
- Visualización de resultados: Campos de velocidad (vectores, líneas de corriente), campos de presión (contornos). Creación de animaciones si es factible.
- Análisis cualitativo de resultados, comparando los patrones de viento simulados con los observados en ERA5 (como proposición; algo no definitivo) y discutiendo la influencia de la topografía.

- Identificación de las limitaciones del modelo y las simplificaciones realizadas.
- Redacción del informe final de la práctica y preparación del código fuente.

4. Datos y Herramientas

4.1. Datos

- Earth Engine Data Catalog
- Centro de Estudios Atmosféricos, Oceanográficos y Sísmicos (CENAOS)
- Datos de reanálisis ERA5 (ECMWF).
- Modelos Digitales de Elevación (MDE): SRTM, ASTER GDEM.
- Datos de precipitación para regiones de Honduras (proporcionados o de fuentes públicas).

4.2. Software y Lenguajes

- **Python 3.x:** Lenguaje principal de programación.
- **Bibliotecas de Python:** NumPy, SciPy, Matplotlib, Pandas, MetPy, Cartopy, xarray.
- * Opcional QGIS o ArcGIS: Para preprocesamiento y visualización de datos geoespaciales.
- * Opcional para exploración futura Julia.

5. Formatos de Entrega

1. Informe de Práctica (formato Word o LaTeX):

- Introducción, justificación y objetivos.
- Breve revisión de conceptos teóricos y trabajos similares.
- Descripción detallada de la metodología: adquisición y procesamiento de datos, formulación del modelo, implementación numérica.
- Presentación y análisis de los resultados (gráficos, mapas, animaciones si es posible).
- Discusión de los resultados, limitaciones del modelo y del estudio.
- Conclusiones y recomendaciones para trabajos futuros.

2. Código Fuente:

- Scripts de Python y/o Jupyter Notebooks documentados con el código del modelo, análisis de datos y generación de gráficos.

Referencias

- [1] Warner, T. T. (2011). *Numerical Weather and Climate Prediction*. Cambridge University Press.
- [2] Wallace, J. M., & Hobbs, P. V. (2006). *Atmospheric Science: An Introductory Survey* (2nd ed.). Academic Press.
- [3] Holton, J. R., & Hakim, G. J. (2012). *An Introduction to Dynamic Meteorology* (5th ed.). Academic Press.
- [4] Anderson, Jr., J. D. (2017). *Computational Fluid Dynamics: The Basics with Applications* (Reprint of 1995 ed.). McGraw-Hill Education.
- [5] Vallis, G. K. (2017). *Atmospheric and Oceanic Fluid Dynamics* (2nd ed.). Cambridge University Press.
- [6] McKinney, W. (2022). *Python for Data Analysis* (3rd ed.). O'Reilly Media.
- [7] Scopatz, A., & Huff, K. D. (2015). *Effective Computation in Physics: Field Guide to Research with Python*. O'Reilly Media.