

# Plan de Trabajo

Tesista de licenciatura: Florencia Lazzari

Director: Alejandro Otero

Co-director:

Título: Simulación computacional de estelas en parques eólicos

## Marco

A nivel mundial, la eólica ocupa un lugar destacado dentro de las energías renovables. En 2015, fue la principal fuente de nueva capacidad generadora de electricidad en Europa y Estados Unidos, y la segunda más importante en China (Sawin *et al.*, 2016).

La generación de energía eólica difiere de otras formas convencionales de generación debido a la naturaleza cuasiestocástica del viento. Dada la complejidad de los fenómenos a estudiar, es difícil realizar experimentos físicos, por lo que se utiliza simulación computacional para realizar la experimentación en forma numérica. Las herramientas para el pronóstico de producción de energía eólica reducen el riesgo de incertidumbre y permiten un mejor planeamiento e integración de la energía eólica dentro del sistema eléctrico nacional. Además, el modelado del flujo resulta de utilidad para la prospección e instalación de futuros proyectos.

La interacción de las turbinas eólicas con su entorno es un problema donde aparecen diversas escalas espaciales en el flujo. La escala sinóptica es la que modula el problema, pero también tienen una influencia importante los fenómenos que ocurren a escala local debido a la topografía del terreno y el efecto de las turbinas mismas, donde aparecen escalas en un rango que varía entre su tamaño característico hasta las escalas turbulentas más pequeñas. Una de las características más desafiantes de la generación eólica, comparada con otras fuentes convencionales, es su dependencia con la variabilidad del viento. Esto sucede en todas las escalas temporales, pero hay dos que resultan más relevantes. Las escalas en el orden de los milisegundos a segundos resultan relevantes para el sistema de control de la turbina, mientras que para la inserción de la eólica en la red eléctrica resultan importantes los fenómenos que ocurren en escalas temporales del orden de minutos a días (Giebel *et al.*, 2011). Analizar la interacción de un grupo de turbinas entre sí y con su entorno implica considerar todos los

fenómenos que ocurren en este rango de escalas. Esto evidencia la complejidad del problema, que cubre rangos temporales y espaciales que barren más de 6 órdenes de magnitud.

El objetivo del proyecto en el que se enmarca esta tesis es el desarrollo de herramientas computacionales que permitan modelar el flujo en el entorno de las turbinas eólicas, dando lugar a modelos de pronóstico de potencia eólica en parques eólicos. Se analizarán distintas combinaciones de métodos que permitan contar con un abanico de opciones de variado costo computacional de acuerdo con las necesidades operativas de cada caso.

## Objetivos

La tesis de licenciatura de Florencia Lazzari apunta a desarrollar modelos de orden reducido de estelas de turbinas eólicas a un bajo costo computacional. Se modelará el efecto de las turbinas sobre el flujo atmosférico mediante modelos que representan la aerodinámica en el entorno cercano a las turbinas. Además, se analizará la forma de representar la interacción de las estelas de varias turbinas.

El objeto final será construir un código en Python que tome como dato de entrada las variables entregadas por el y obtenga como resultado el campo de velocidades del fluido aguas abajo de las turbinas. De esta forma será posible analizar situaciones de funcionamiento en un parque real.

La estela que se produce detrás de una turbina puede ser representada con distinto nivel de detalle, dependiendo de la precisión requerida se utilizan diferentes recursos computacionales. La alternativa para ahorrar recursos computacionales es utilizar los modelos reducidos de turbinas, en los cuales se substituyen las aspas por fuerzas volumétricas con efecto equivalente actuando sobre el fluido. Se han propuesto diversos modelos de este tipo, que se diferencian en el grado de descripción del rotor, a mayor detalle mayor costo computacional. En esta tesis se utilizará el Actuador Discal (AD), en el que las fuerzas se distribuyen de manera constante sobre el área que barren las aspas del rotor (Sanderse, 2009). Estas fuerzas representan el efecto del rotor promediada en el tiempo.

Los modelos de estelas de turbinas eólicas utilizan simplificaciones para caracterizarlas de manera de evitar la resolución de las ecuaciones diferenciales de la fluidodinámica. Las

simplificaciones introducidas implican una pérdida de precisión pero una importante reducción del costo computacional. Estos modelos en general tienen validez en lo que se denomina *estela lejana* de la turbina que la produce y generalmente se utilizan para generar las condiciones de entrada a turbinas que se encuentran aguas abajo. Los modelos de estelas pueden ser estáticos, cuando consideran una situación estacionaria de viento, o dinámicos, cuando la dirección e intensidad del viento son variables. Se han propuesto diferentes modelos de estelas a lo largo del tiempo. Jensen (1983) fue el pionero, con un modelo estático que tomaba a la estela como un *déficit* constante en el campo de velocidades a partir de argumentos de conservación de masa. Más adelante Frandsen *et al.* (2006) propuso una mejora al modelo de estela al incorporar como hipótesis la conservación de momento. Dentro de los modelos más recientes encontramos el de Bastankhah y Porté-Agel (2014), en el cual a las hipótesis anteriores se le agrega que el *déficit* sea, en lugar de constante, Gaussiano (lo cual es evidente tanto en mediciones de tunel de viento como en simulaciones computacionales más complejas). Por otro lado, existen también modelos que estudian el serpenteo de la estela, como el de Larsen *et al.* (2008). En base a estos modelos la estudiante deberá escribir un código que haga el cálculo para analizar el comportamiento de las estelas.

## Metodología

Las tareas a desarrollar incluyen:

1. **Revisión Bibliográfica y actualización del estado del arte.**
2. **Desarrollos de interfases con modelos de pronóstico numérico (NWP)** para la obtención de las condiciones iniciales y de borde del flujo externo de los casos a simular.
3. **Implementación de modelos de estelas.** Se implementarán distintos modelos propuestos en la literatura científica, y se evaluarán desde el punto de vista de su capacidad descriptiva, su costo computacional y su capacidad de acoplamiento con modelos NWP. Se espera que estos modelos puedan proveer una solución rápida, de bajo costo computacional y cualitativamente aceptable para determinadas aplicaciones.
4. **Análisis de esquemas de representación de la interacción entre distintas estelas.** Uno de los puntos cruciales al utilizar estos modelos simplificados de estelas de

turbinas es cómo representar la interacción de las estelas entre sí y con obstáculos como la superficie terrestre. Se replicarán distintas metodologías propuestas en la literatura.

5. **Validación de los resultados.** En primer lugar se recurrirá a resultados analíticos publicados en la literatura para verificar la solución provista por los modelos. Luego se contrastarán los resultados con los casos de prueba obtenidos mediante simulaciones realizadas utilizando los métodos NWP y fluidodinámica computacional (CFD), en los cuales se encuentran trabajando otros integrantes del grupo. Finalmente, los modelos estudiados se compararán con ensayos a escala en túnel de viento y datos de parques eólicos reales en Argentina.

## Factibilidad

El lugar de trabajo propuesto es el Centro de Simulación Computacional para Aplicaciones Tecnológicas (CSC-CONICET). La tesista contará con acceso a una PC personal donde desarrollar los modelos, con acceso a Internet y amplia capacidad de almacenamiento en disco. En este ambiente de trabajo, dispone de acceso a revistas electrónicas y a material bibliográfico. El Dr. Otero es codirector del Proyecto PIP 11220120100480CO, convocatoria PIP 2013-2015, “Interacción entre el flujo atmosférico de capas bajas y generadores eólicos de gran tamaño”. La directora del mismo es la Dra. Celeste Saulo del CIMA-CONICET y SMN. Además, participa en el Proyecto de cooperación bilateral - CAFCI, Programa de Cooperación Bilateral Nivel II MINCyT-CONICET-CNRS, “Modeling and Simulation in Multidisciplinary Engineering”, dirigido por los Dres. Cecilia Galarza y Guillaume Haiat. Esto garantiza contar con fondos suficientes para el desarrollo de la tesis dado que ésta se inserta en la temática de los mismos.

## Referencias

M. Bastankhah y F. Porté-Agel. A new analytical model for wind-turbine wakes. *Renewable Energy*, 70:116 – 123. 2014. Special issue on aerodynamics of offshore wind energy systems and wakes.

- S. Frandsen; R. Barthelmie; S. Pryor; O. Rathmann; S. Larsen; J. Højstrup y M. Thøgersen. Analytical modelling of wind speed deficit in large offshore wind farms. *Wind Energy*, 9(1-2):39–53. 2006.
- G. Giebel; R. Brownsword; G. Kariniotakis; M. Denhard y C. Draxl. *The State-Of-The-Art in Short-Term Prediction of Wind Power: A Literature Overview, 2nd edition*. ANEMOS.plus. 2011. Project funded by the European Commission under the 6th Framework Program, Priority 6.1: Sustainable Energy Systems.
- N. Jensen. A note on wind turbine interaction. *Risoe National Laboratory, Roskilde, Denmark, Technical Report No. M-2411*. 1983.
- G. C. Larsen; H. A. Madsen; K. Thomsen y T. J. Larsen. Wake meandering: a pragmatic approach. *Wind Energy*, 11(4):377–395. 2008.
- B. Sanderse. Aerodynamics of wind turbine wakes, literature review. *Eergy research Center of the Netherlands*, (46). 2009.
- J. L. Sawin; K. Seyboth y F. Sverrisson. Energías renovables 2016, reporte de la situación mundial, hallazgos claves 2016. SECRETARIADO DE REN21. 2016.