



DNV

WHEN TRUST MATTERS

Reducción del riesgo de sobrestimación de producción anual para los megaproyectos del futuro por el efecto de las perdidas por interacción de turbinas

Conferencia Vortex Recurso Eólico - Chile

Nicolas.Fuentes@dnv.com
Leonardo.Barriato@dnv.com
Bernardo.Piccoli@dnv.com

08 May 2025

Introducción

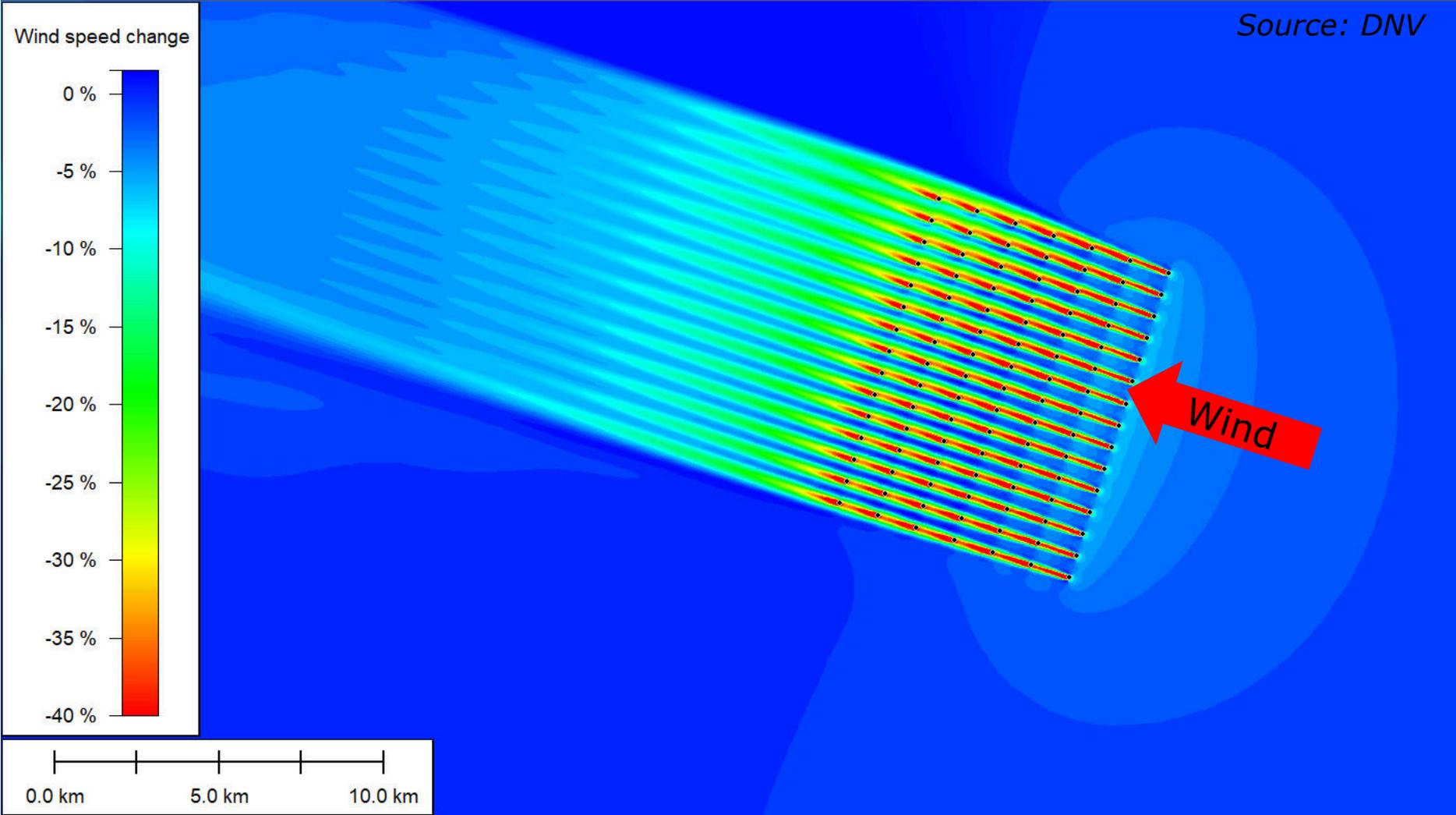
Chile tiene el potencial necesario para desarrollar proyectos eólicos con una alta densidad de turbinas (“megaproyectos”, escala GW)

Es importante que en las etapas tempranas del desarrollo, no se subestimen las pérdidas por interacción aerodinámica

Comparativa entre resultados por modelos de ingeniería vs. modelos de alta fidelidad

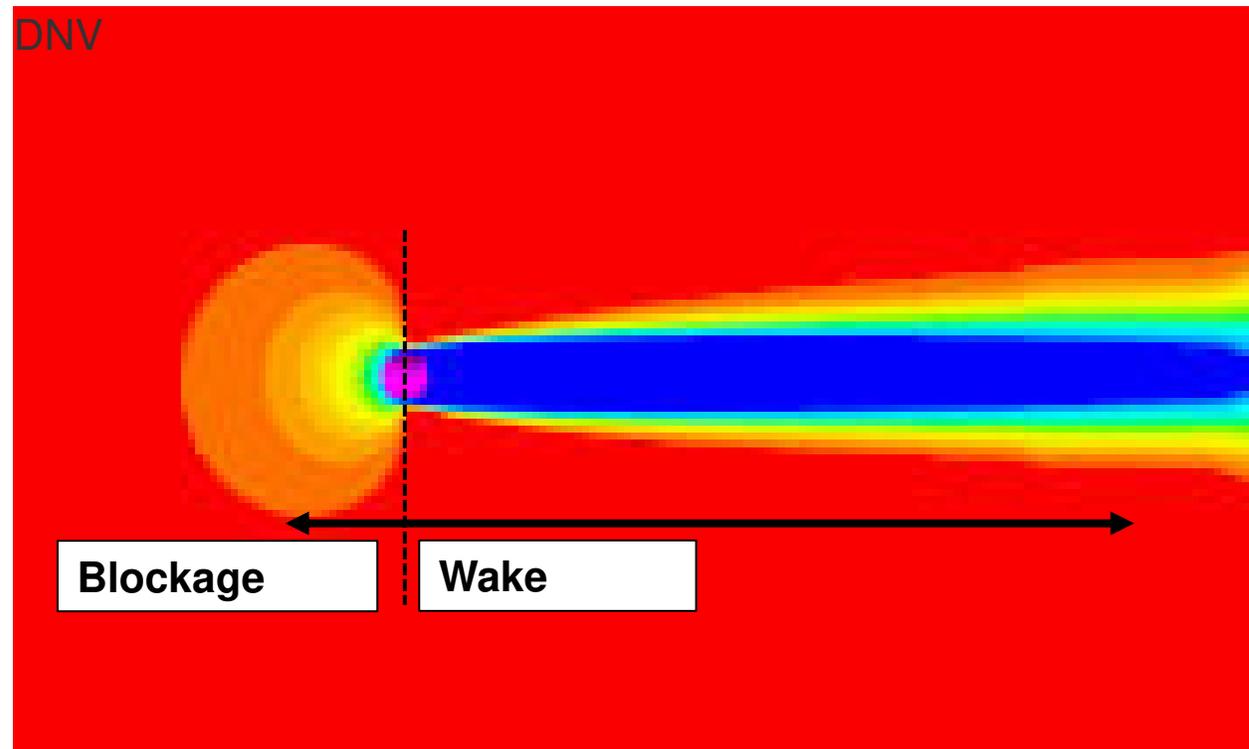
Modelo ingeniería + CFD.ML (“machine learning”) vs. Modelo no-lineal CFD (fluido computacional)

Interferencia Aerodinámica



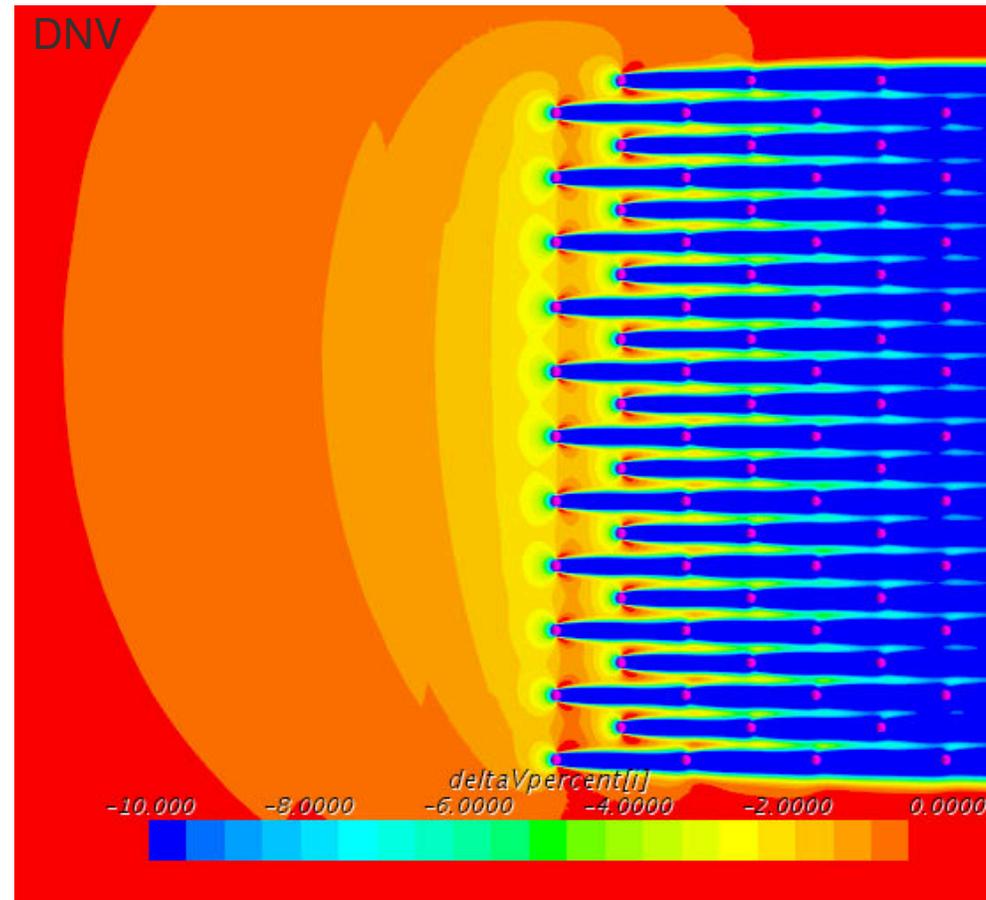
Efecto Bloqueo y Estelas (“Wakes”)

- Visualización del efecto de bloqueo y estelas



Efecto Bloqueo y Estelas (“Wakes”)

- Aumenta el efecto al aumentar la cantidad de turbinas por fila y las filas



Métodos de cálculo de bloqueo y estelas

Método de ingeniería tradicional

- Cálculo lineal, asume terreno simple y atmosfera neutra
- Se necesita una corrección para tomar en cuenta la interacción del parque con la atmósfera (Large Wind Farm, “LWF”)
- Modelo para cuantificar el bloqueo (Blockage Estimator Effect Tool, “BEET”)

CFD (fluido computacional)

- Modelo basado en ecuaciones Navier-Stokes.
- Se representa la interacción total entre turbinas (efecto estela + bloqueo)
- Uso discos actuadores para representar a los aerogeneradores.
- Simulación con turbinas operando vs. turbinas sin operar. Se cuantifica la diferencia entre ambos casos.

Modelo CFD.ML para efecto bloqueo y estelas

Descripción

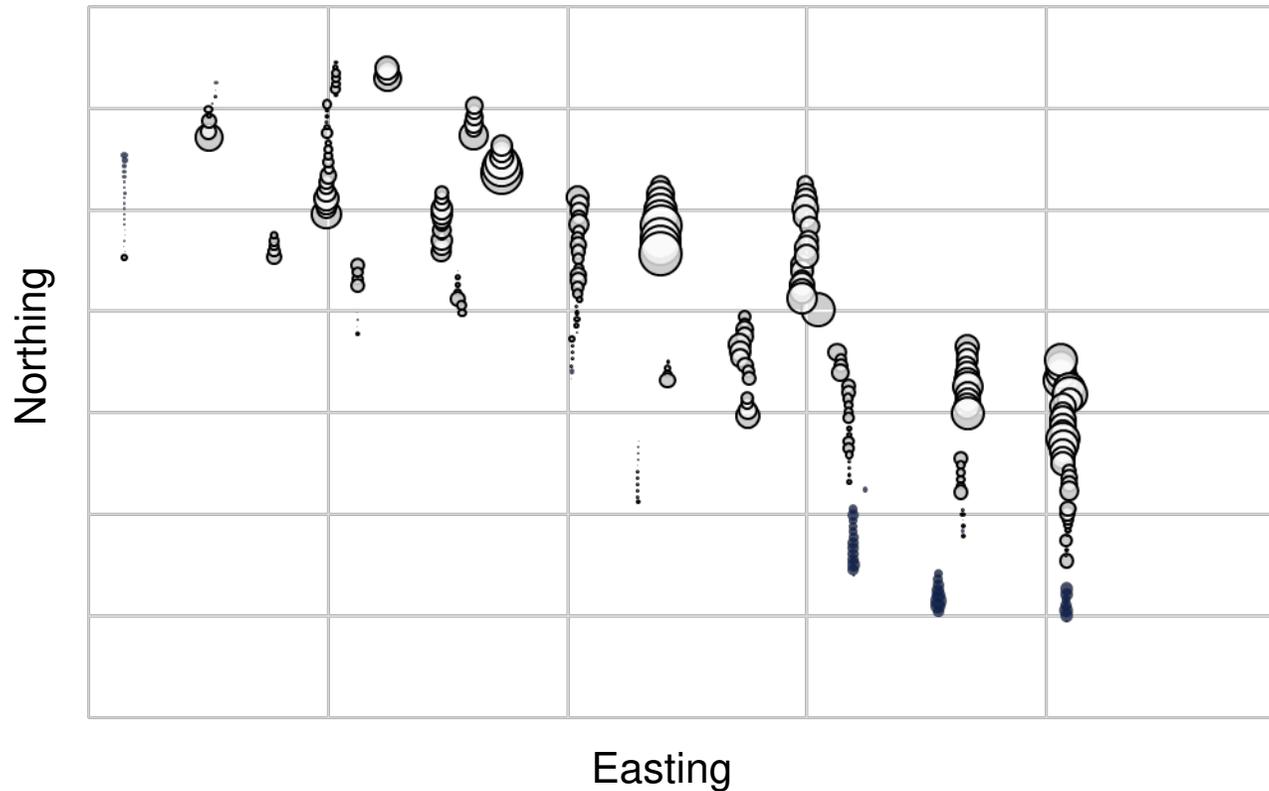
- Herramienta de machine learning entrenada para emular la interacción entre turbinas utilizando como referencia el modelo de alta fidelidad de fluido computacional CFD

Inputs

- Boundary Layer Height [m]
- Lapse Rate [K/100m]
- Delta Theta [K]
- Delta z inversion layer [m]
- Vertical gradient of velocity [dv/dz]
- Turbulence intensity

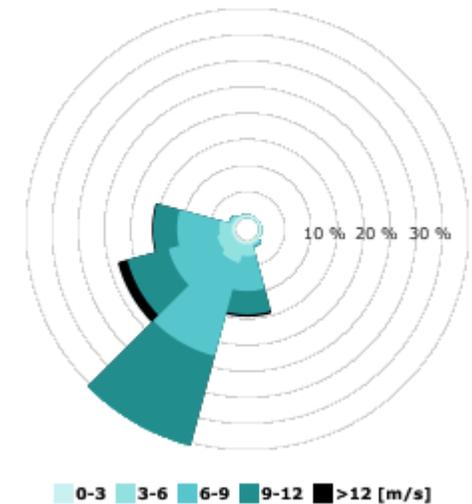
Comparativa métodos de cálculo de pérdidas por interacción entre turbinas

CFD - WFA

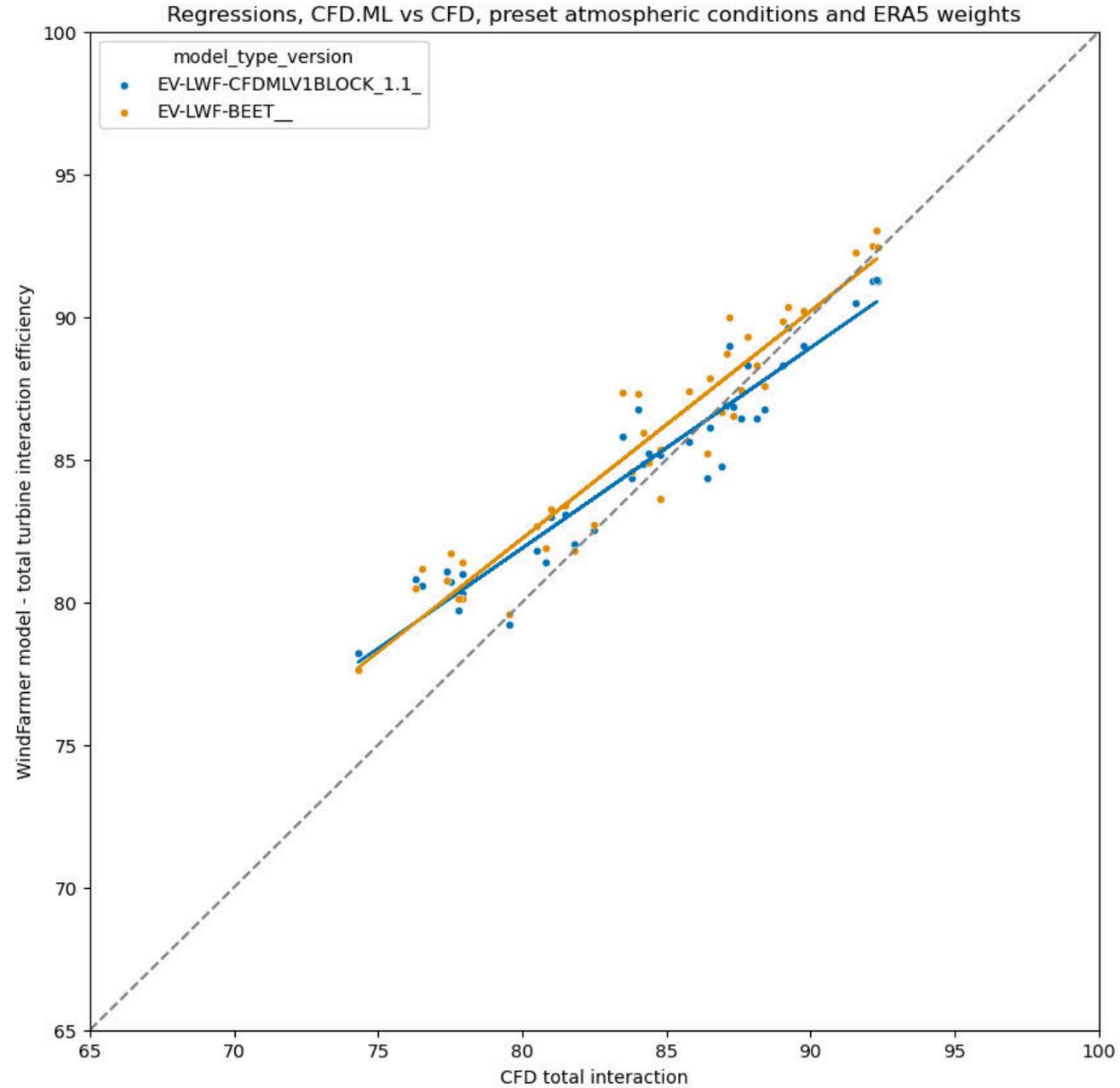


- CFD > WFA
- WFA > CFD

Wind Rose



Diferencia empírica



Situación actual

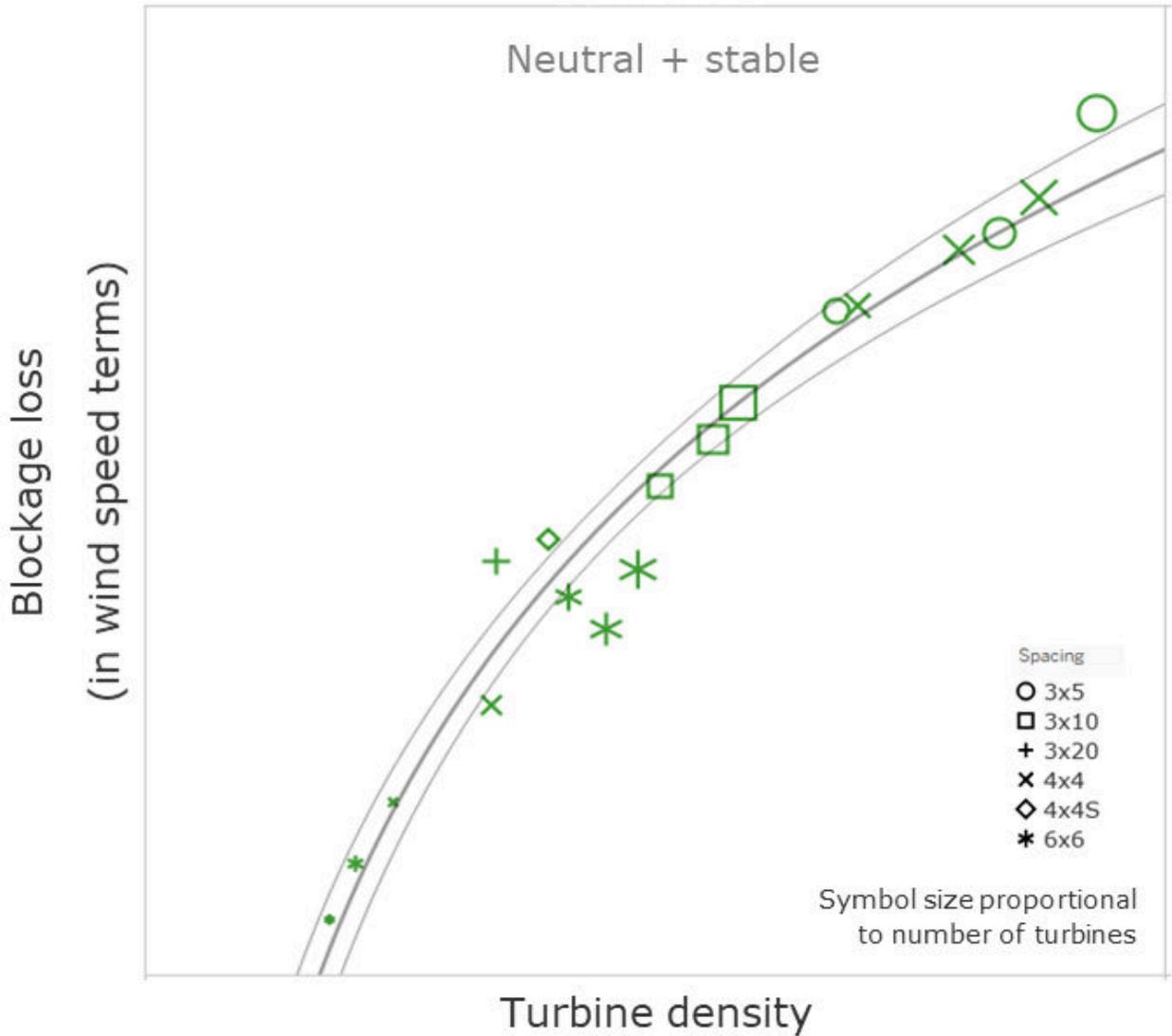
Riesgo

- Usar únicamente modelos de ingeniería para obtener las pérdidas aerodinámicas de un proyecto presenta un riesgo elevado de sobreestimación
- Diferencias entre pérdidas por estelas y bloqueos utilizando diferentes métodos de cálculo

Solución

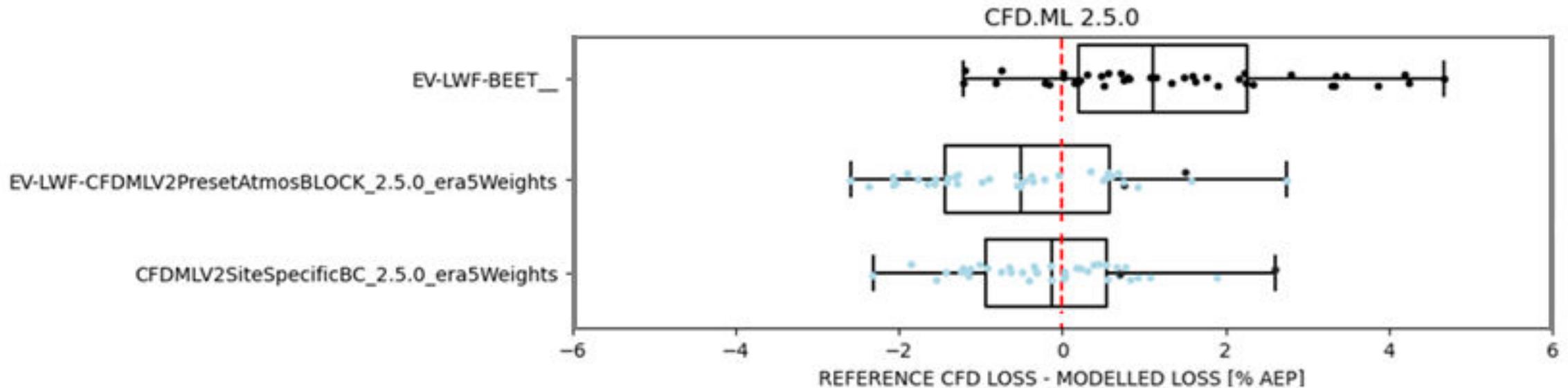
- Utilizar el modelo de alta fidelidad de CFD para obtener los valores de interacción entre turbinas
- Para resultados más rápidos en estudios preliminares se puede utilizar CFD.ML, una estrategia más avanzada al modelo de bloqueo tradicional (BEET)

Ejemplo: Blockage Estimator Effect Tool (BEET)



Test de CFD.ML

- No incluye entrenamiento con CFD.ML
- Incluye entrenamiento con CFD.ML



Conclusiones

- Los resultados entrenados con CFD.ML reducen la diferencia con HiFi CFD
- También se reduce la variabilidad de los resultados en producción anual de energía (AEP)
- Próxima validación de resultados CFD.ML con bases de datos más robustas (especial atención en el área Onshore Wind)
- Corregir el sesgo de CFD.ML para evitar sobreestimación de las pérdidas por interacción de turbinas en megaproyectos.



Q&A

Nicolas.Fuentes@dnv.com
Leonardo.Barriato@dnv.com
Bernardo.Piccoli@dnv.com

www.dnv.com