

Pronóstico de la generación eólica usando aprendizaje profundo

Dr. Alberto Reyes Ballesteros

Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias

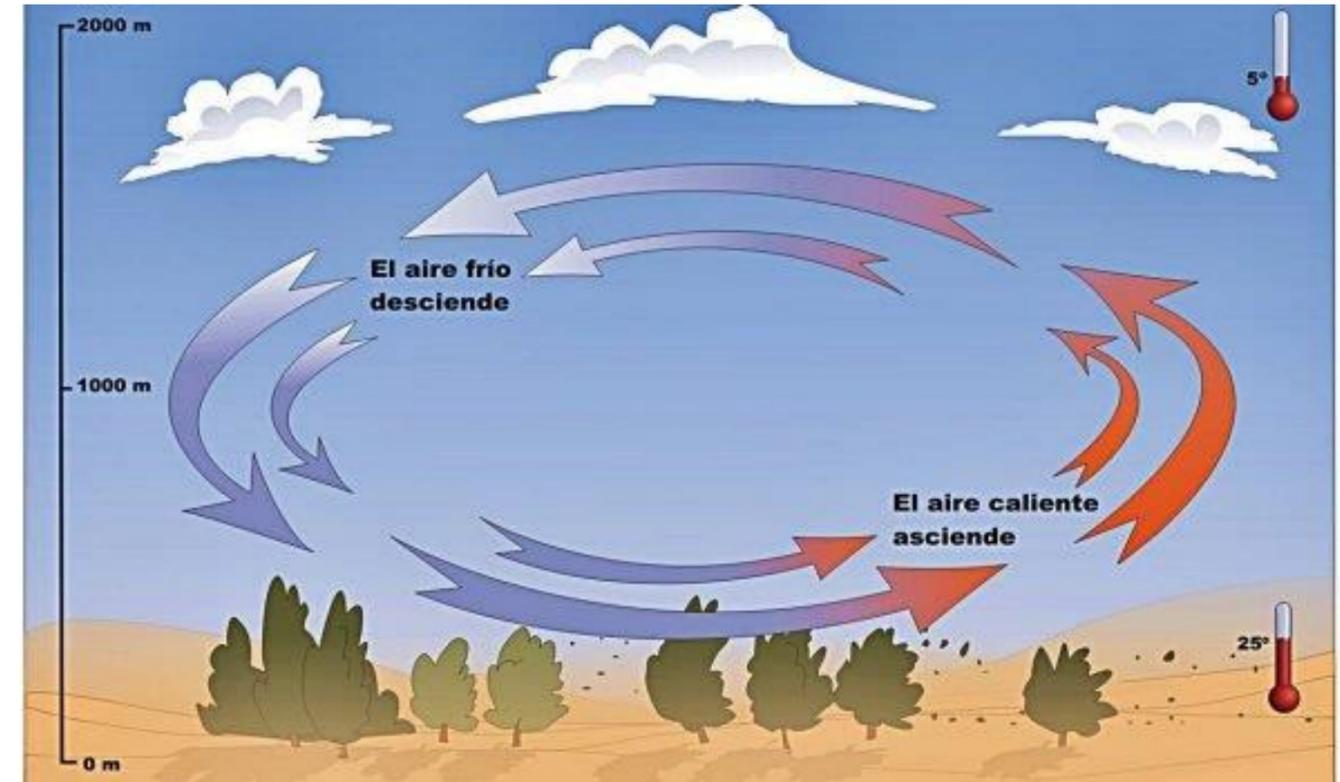
México



Introducción

El recurso eólico

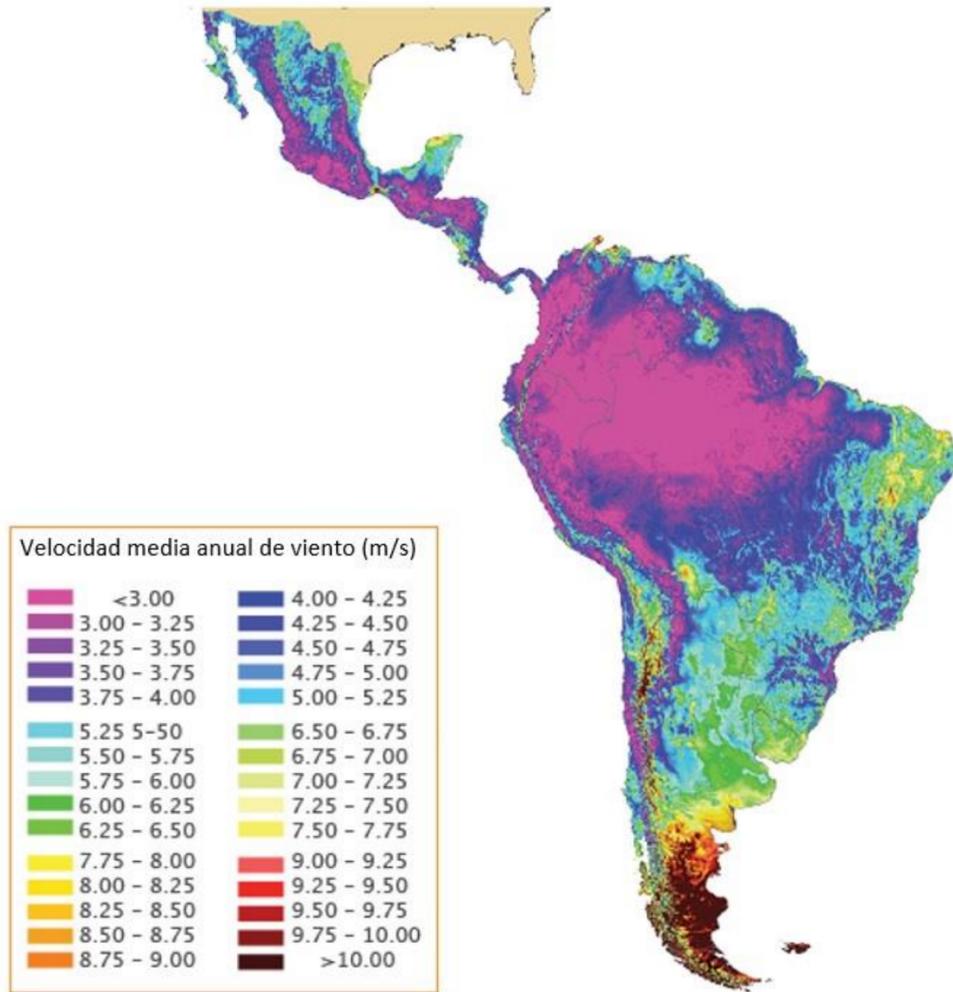
- Los vientos se originan como consecuencia de las diferencias en la presión atmosférica
- Estas diferencias se producen por las distintas temperaturas en el aire.
- El aire frío tiende a desplazarse hacia abajo, mientras que el aire caliente se desplaza hacia arriba.
- Otros factores: latitud, zonas costeras y montañosas, rotación del planeta.



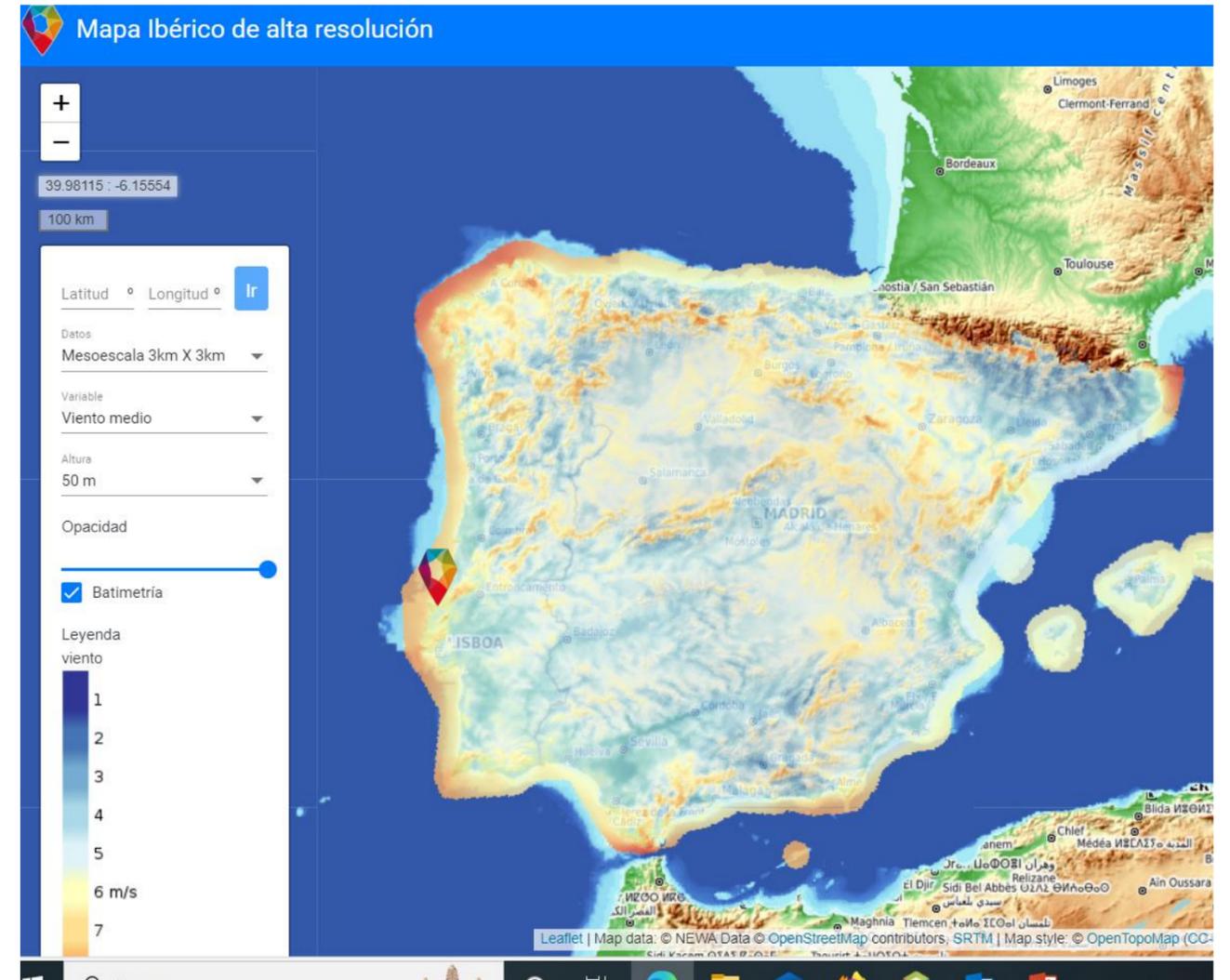
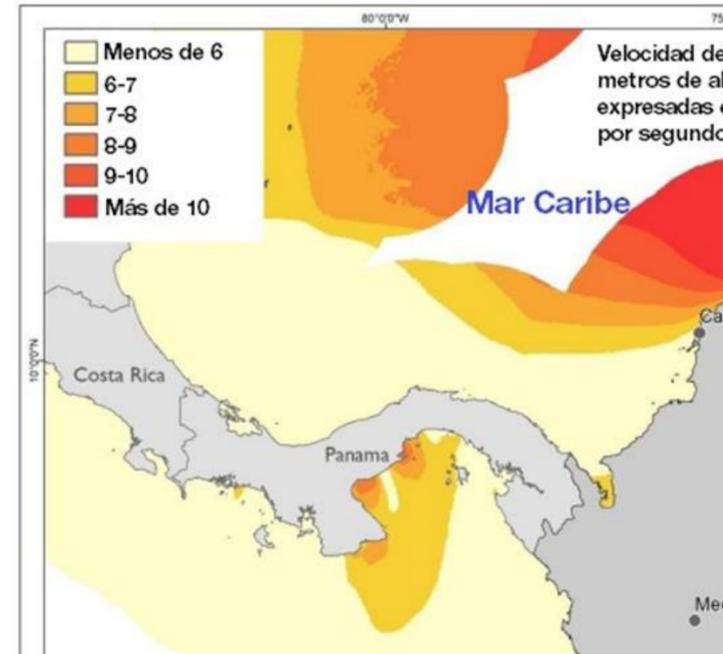
El viento existe porque el sol calienta irregularmente la superficie de la Tierra.

El recurso eólico en iberoamérica

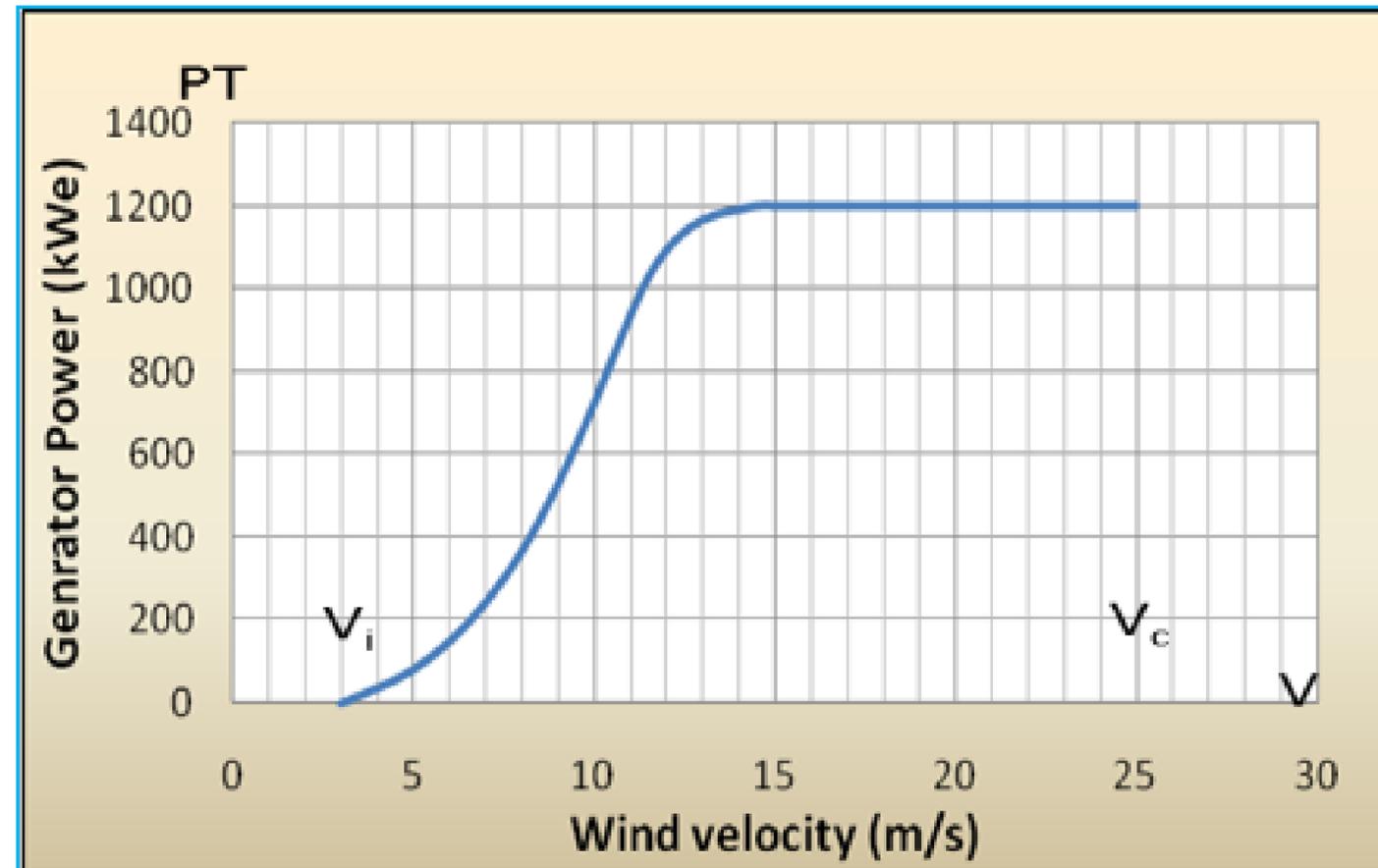
Recursos eólicos de América Latina Continental



Fuente: Adaptada del mapa de AWS Truepower



Conversión de energía del viento en potencia eléctrica



La **potencia generada** por un aerogenerador depende directamente de la **velocidad del viento** en su centro.

¿Por qué es importante predecir la potencia eléctrica en los parques eólicos?

Pronóstico de generación eólica

El pronóstico de generación en parques eólicos se requiere para las siguientes tareas :

- Realizar **ofertas de generación** a distintos plazos para el Mercado Eléctrico Mayorista (MEM).
- Programar mejor las salidas a **mantenimiento**.
- Planificar el **despacho de energía**.
- Identificar **problemas o derrateos** en aerogeneradores.



Pronóstico de generación eólica

- La potencia generada por un parque eólico es muy difícil de pronosticar, ya que depende de:
 - Variables **meteorológicas**.
 - Variables de **operación** del parque.
- Para pronosticar generación se requiere:

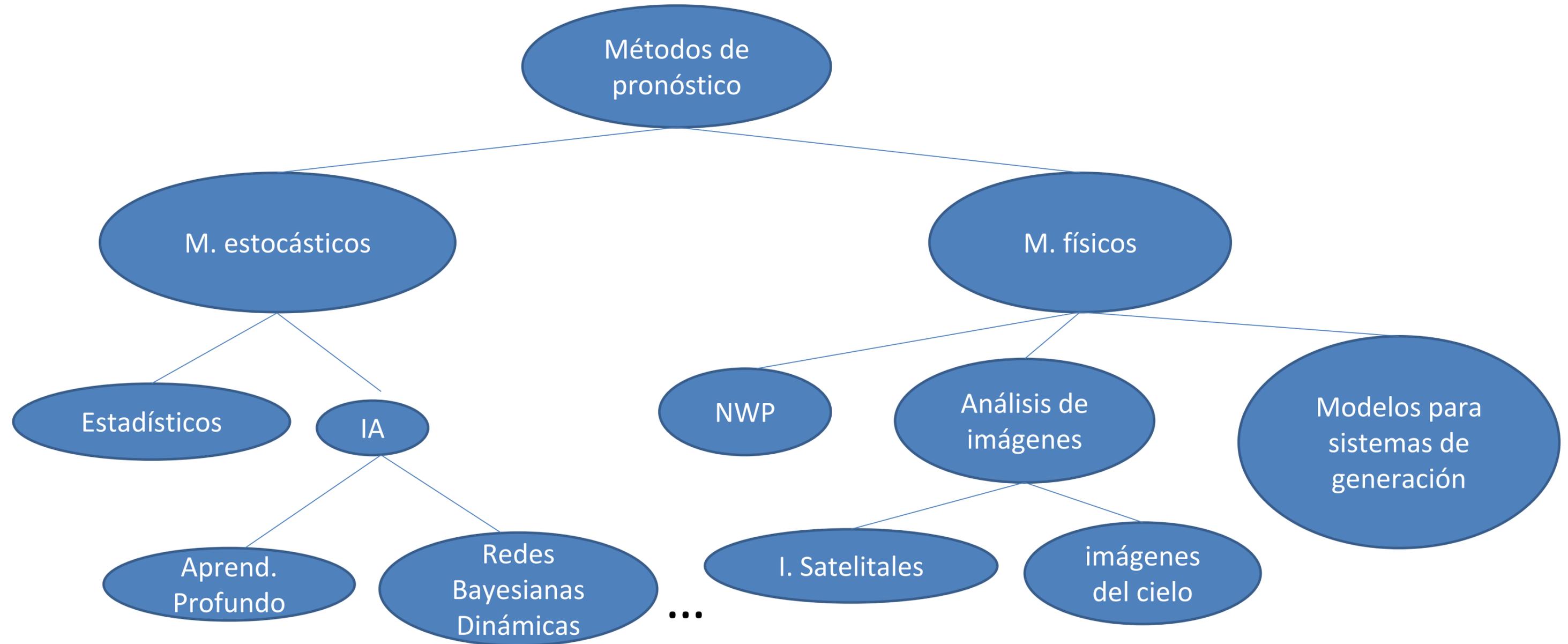
Pronóstico del **recurso**
(variables meteorológicas)

+

Modelo del parque.



Métodos de pronóstico de viento



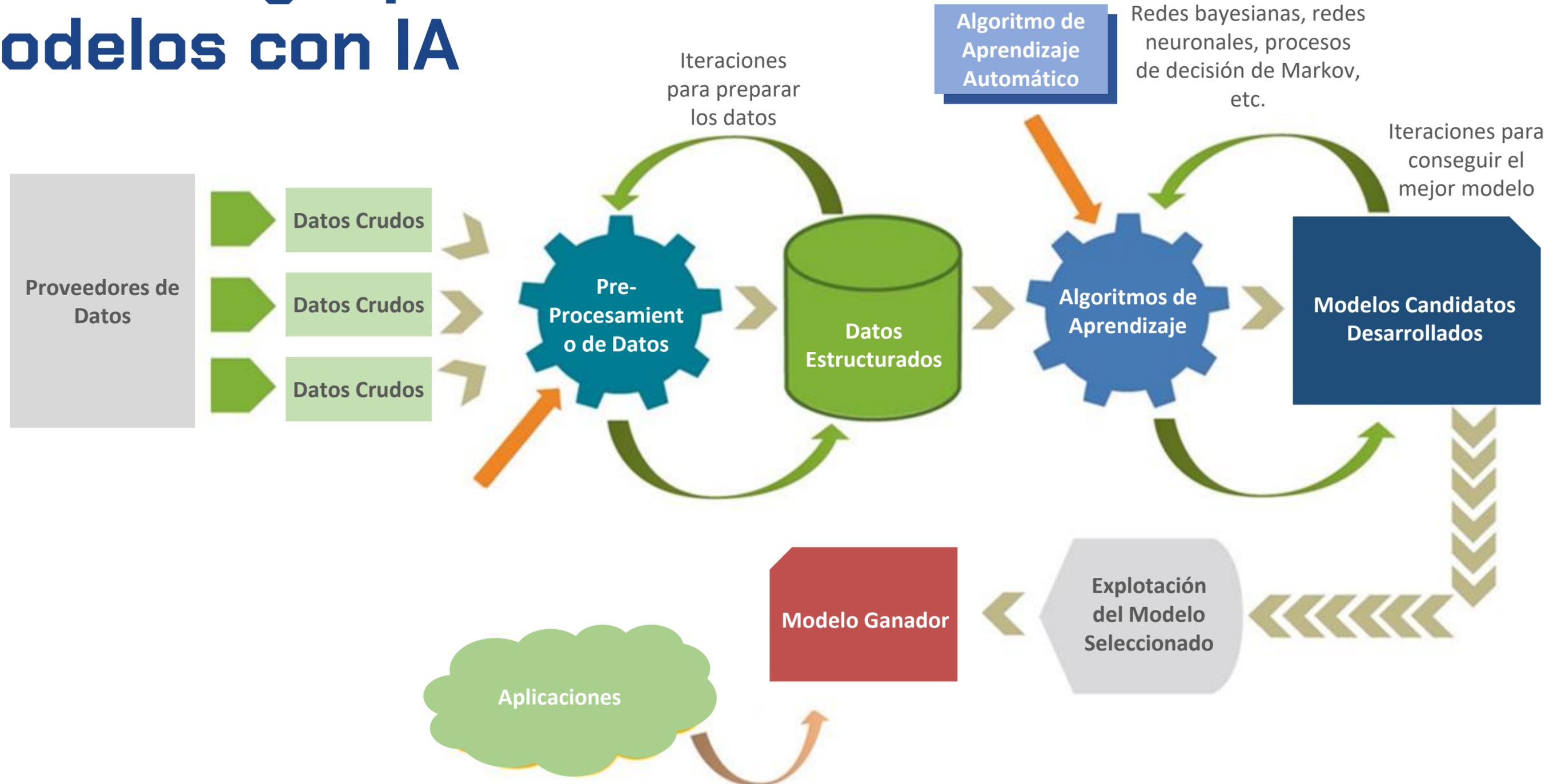
Y. Zhang, J. Wang, and X. Wang, "Review on probabilistic forecasting of wind power generation," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 32, pp. 255–270, 2014.

Métodos basados en IA

- La inteligencia artificial (IA) intenta resolver problemas cognitivos asociados a la inteligencia humana, como el **aprendizaje**, la toma de decisiones, o el reconocimiento de patrones.
- Esa capacidad de la IA de resolver problemas de aprendizaje se le llama Aprendizaje Automático (*Machine Learning*) .
- Los métodos de pronóstico basados en IA aprenden de la relación entre el pronóstico y una serie de valores medidos.



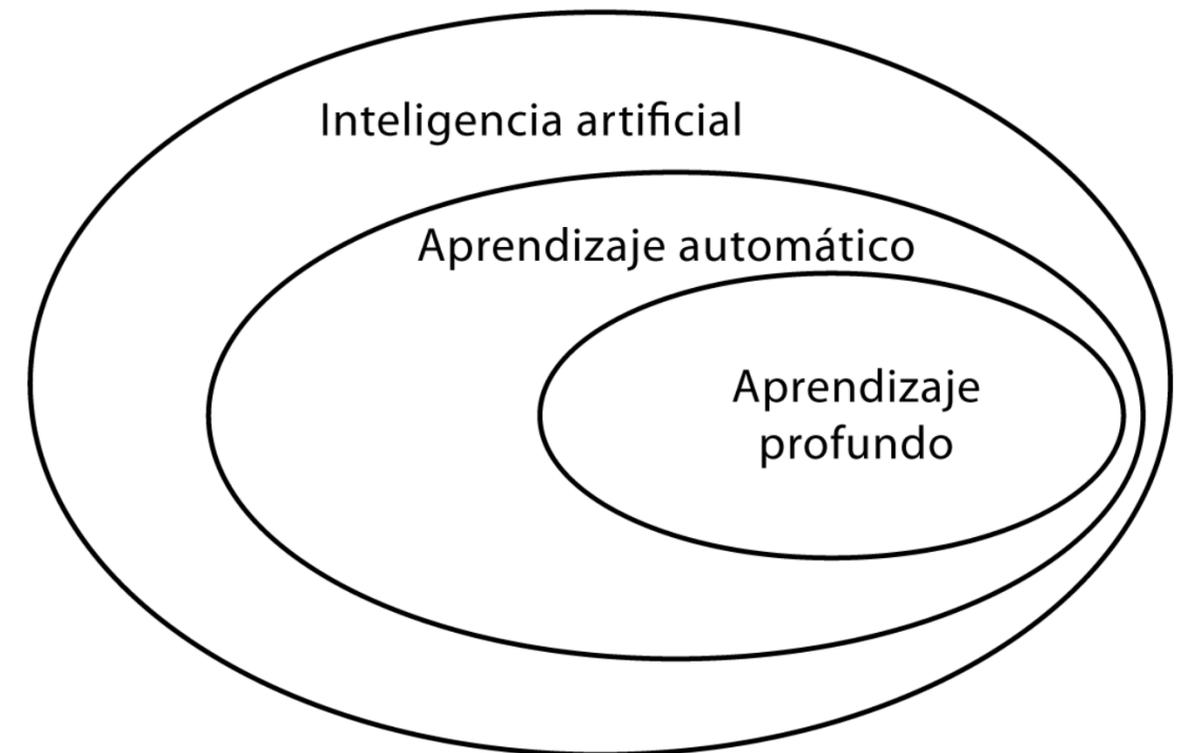
Metodología para construir modelos con IA



¿Cuáles son las técnicas de pronóstico
basadas en Aprendizaje Profundo?

Aprendizaje profundo

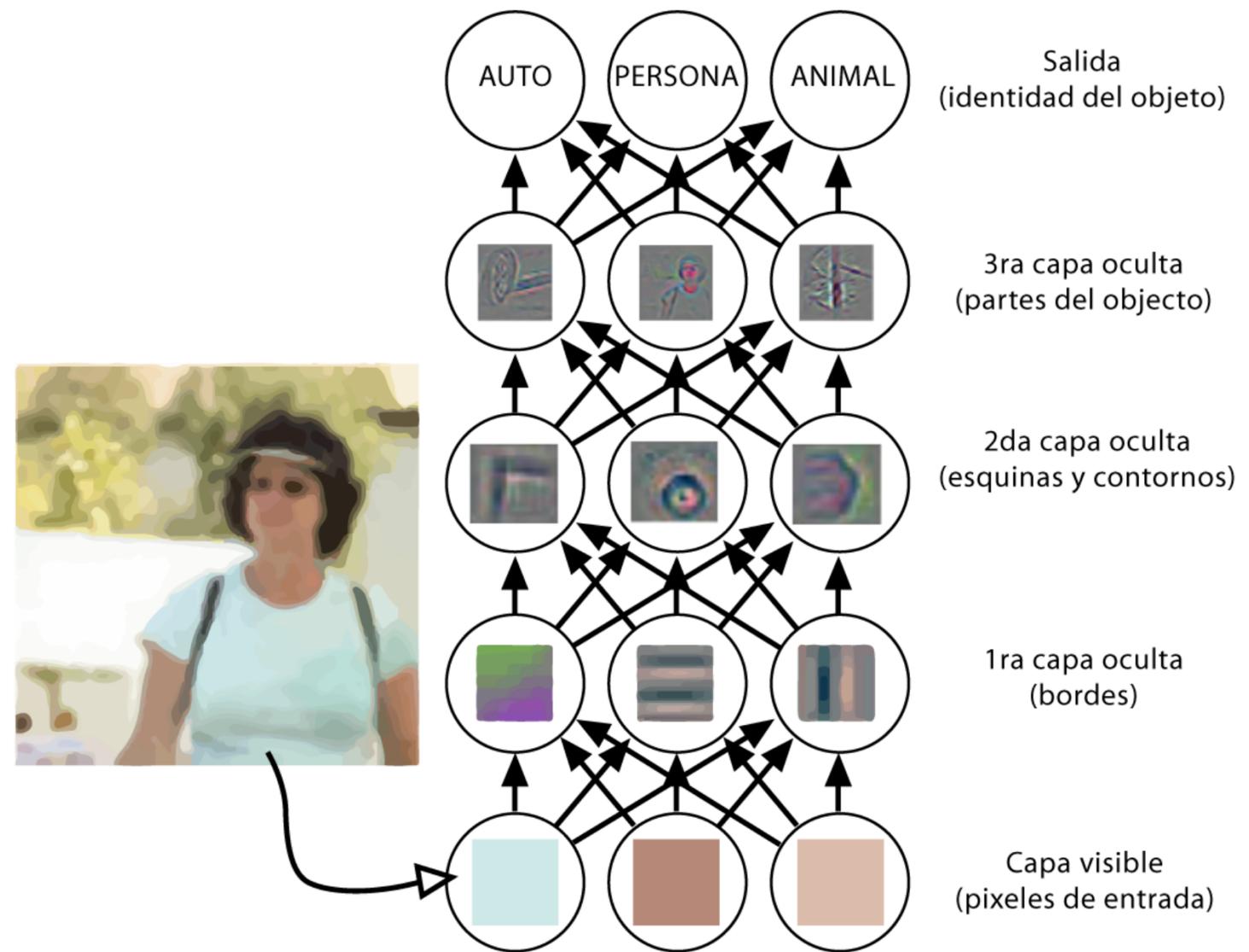
El aprendizaje profundo es un caso especial de aprendizaje automático donde una computadora aprende conceptos complejos a partir de otros más simples que se hundan a profundidad a través de varias capas de procesamiento.



Aprendizaje profundo

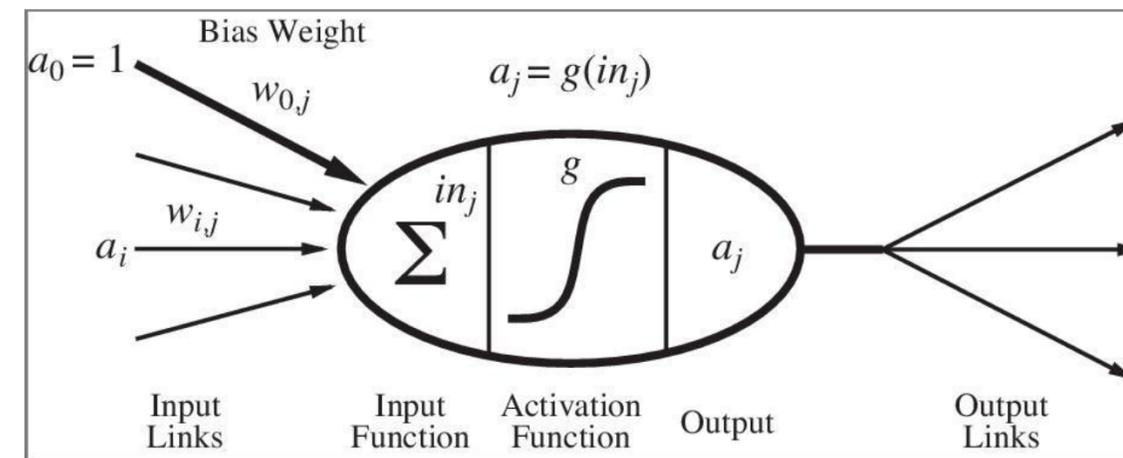
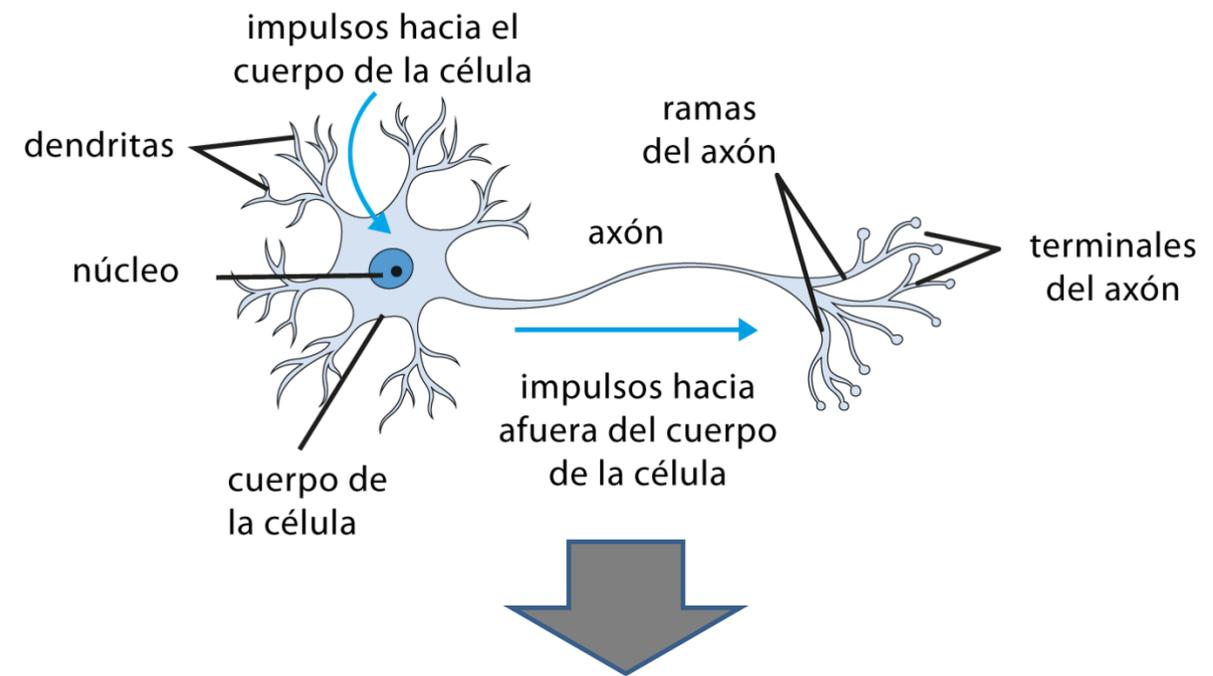
Ejemplo

En un sistema de aprendizaje profundo se puede representar el concepto de una imagen de una persona combinando conceptos más simples, como esquinas y contornos, que a su vez se definen en términos de bordes.



Aprendizaje profundo

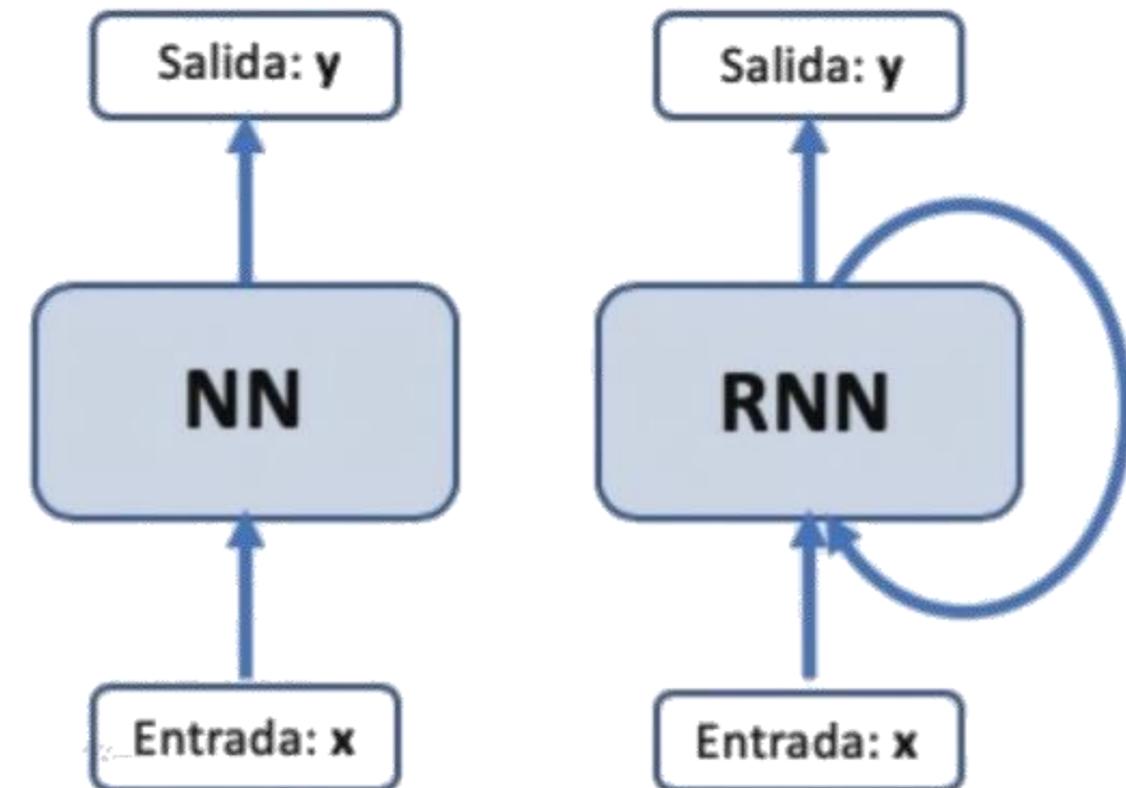
Las redes neuronales artificiales son representaciones matemáticas utilizadas como base en aprendizaje profundo.



$$in_j = \sum_{i=0}^n w_{i,j} a_i \quad a_j = g(in_j) = g\left(\sum_{i=0}^n w_{i,j} a_i\right)$$

Redes neuronales recurrentes

- Una red neuronal recurrente es una técnica de aprendizaje profundo capaz de procesar información secuencial, como en las series de tiempo
- Por ejemplo, para pronosticar precios o demanda eléctrica, reconocer voz, texto, imágenes de video, etc.



Series de tiempo

Series univariadas

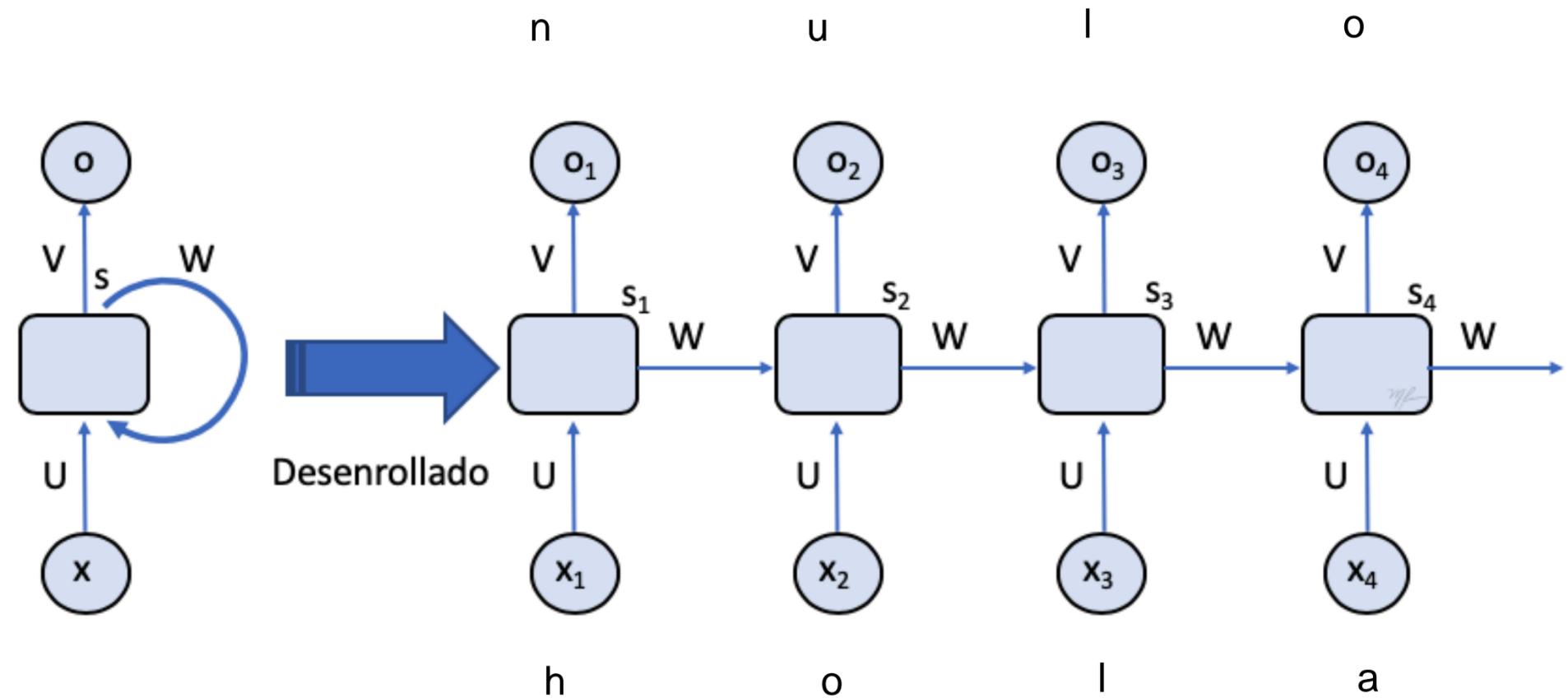
timestamp	x
01/01/23	82
02/01/23	94
03/01/23	73
04/01/23	37
05/01/23	20
06/01/23	13
07/01/23	18
08/01/23	7
09/01/23	29
10/01/23	3
11/01/23	13
12/01/23	53
13/01/23	76
14/01/23	8
15/01/23	5

Series multivariadas

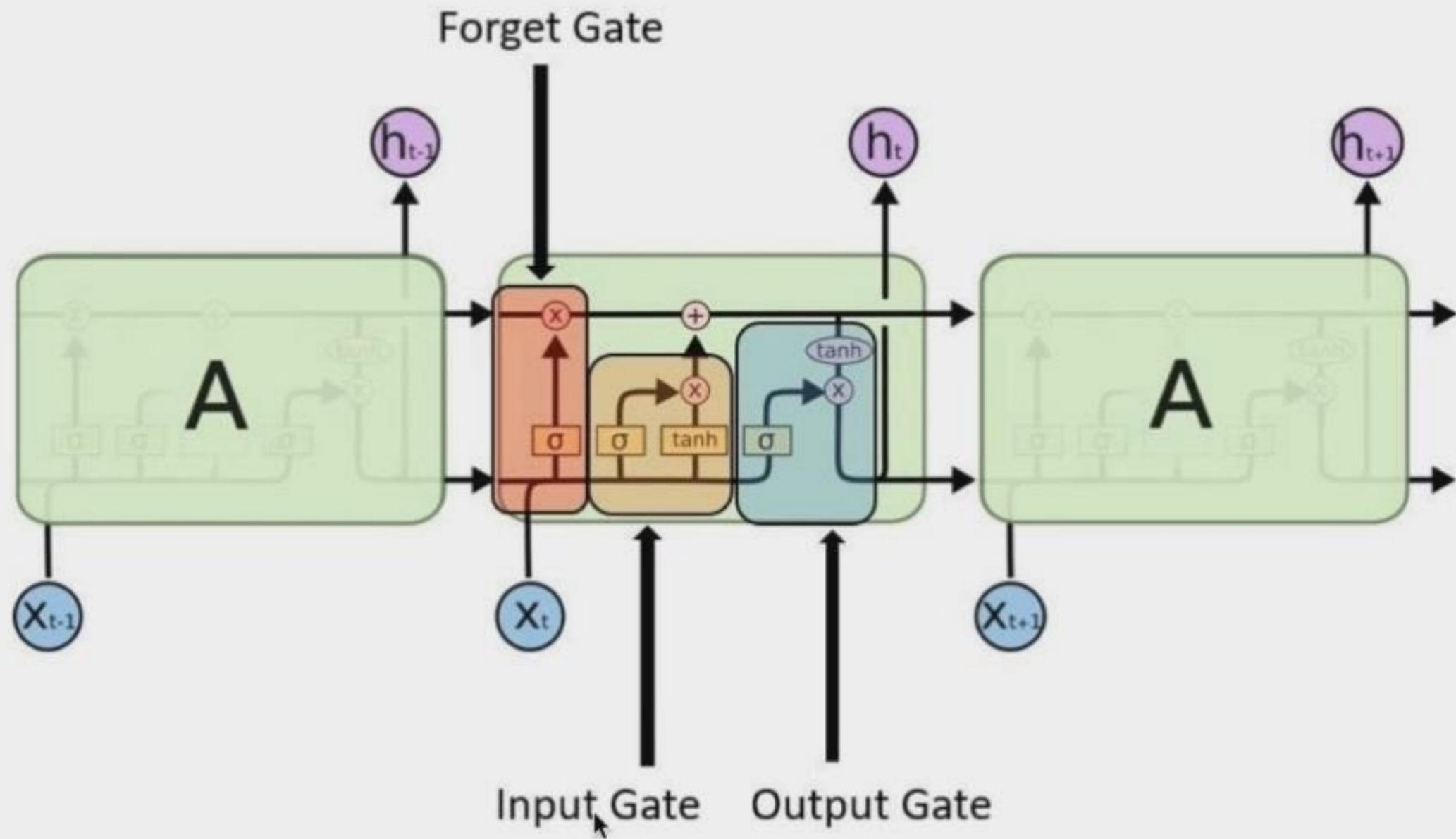
timestamp	x1	x2	x3	x4
01/01/23	54	92	88	97
02/01/23	47	9	73	63
03/01/23	92	2	89	78
04/01/23	11	86	4	35
05/01/23	77	54	18	79
06/01/23	2	98	30	53
07/01/23	54	42	96	7
08/01/23	57	88	66	39
09/01/23	75	5	74	93
10/01/23	79	54	90	50
11/01/23	96	36	87	96
12/01/23	88	28	80	52
13/01/23	83	9	40	88
14/01/23	35	34	84	35
15/01/23	71	11	70	5

RNA recurrentes

Una forma más simple de ver una red recurrente es desdoblarla en tantas capas como número de elementos que contenga la serie a aprender.



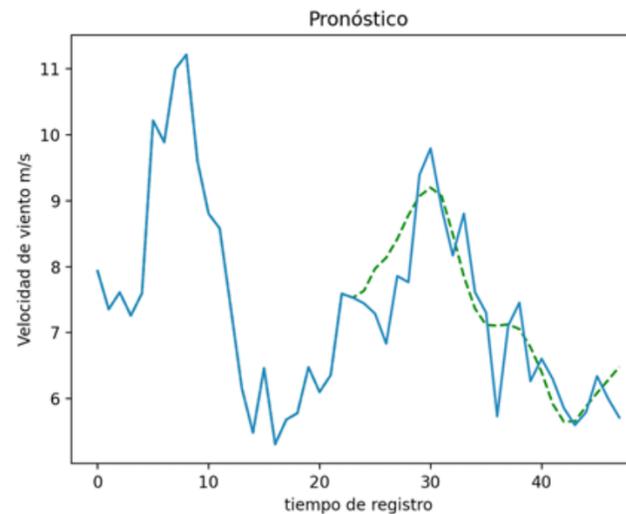
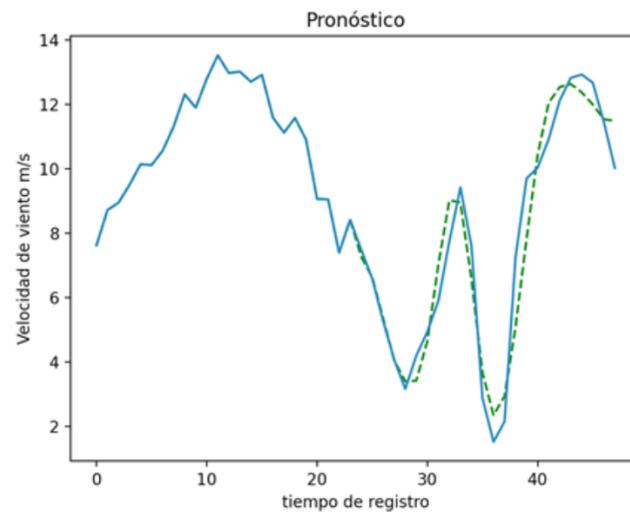
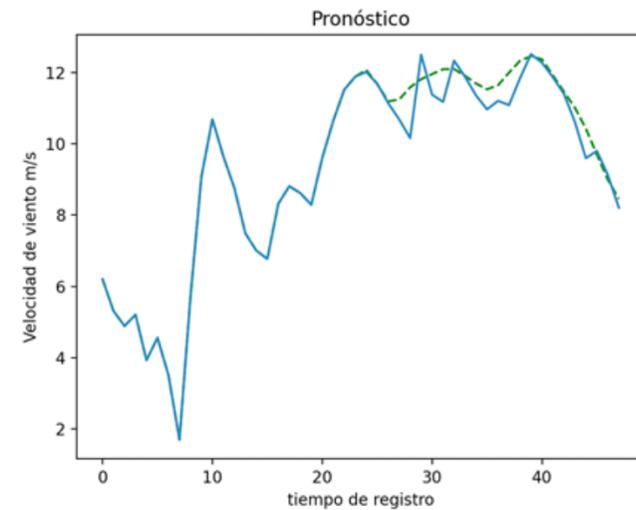
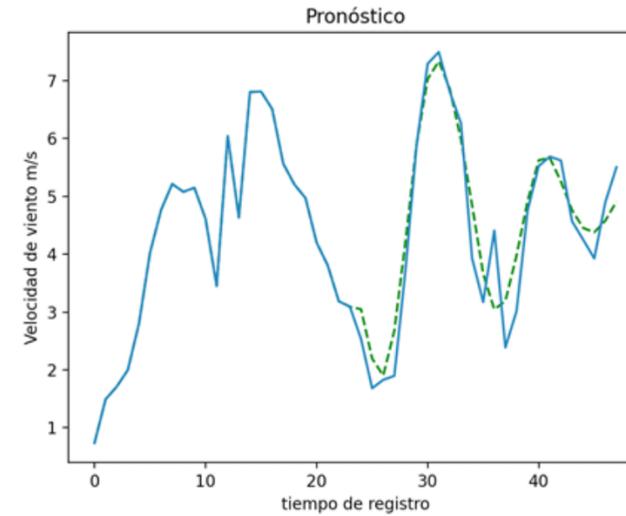
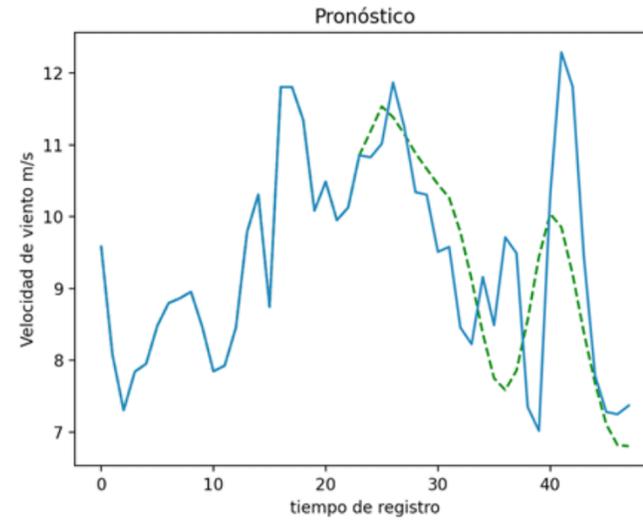
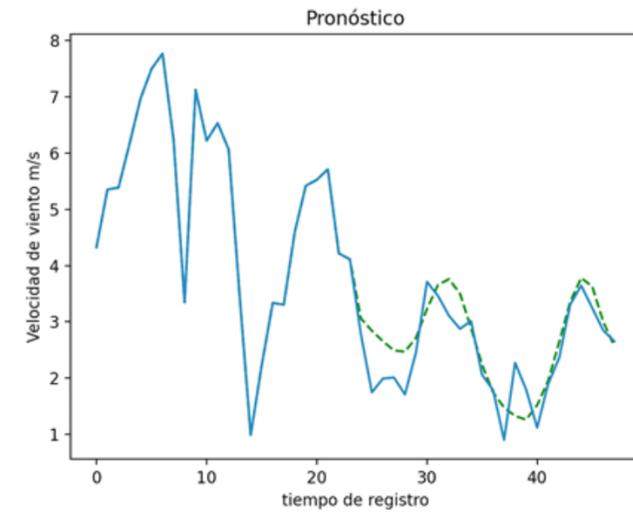
LSTM



Resultados experimentales

Pronóstico de velocidad de viento

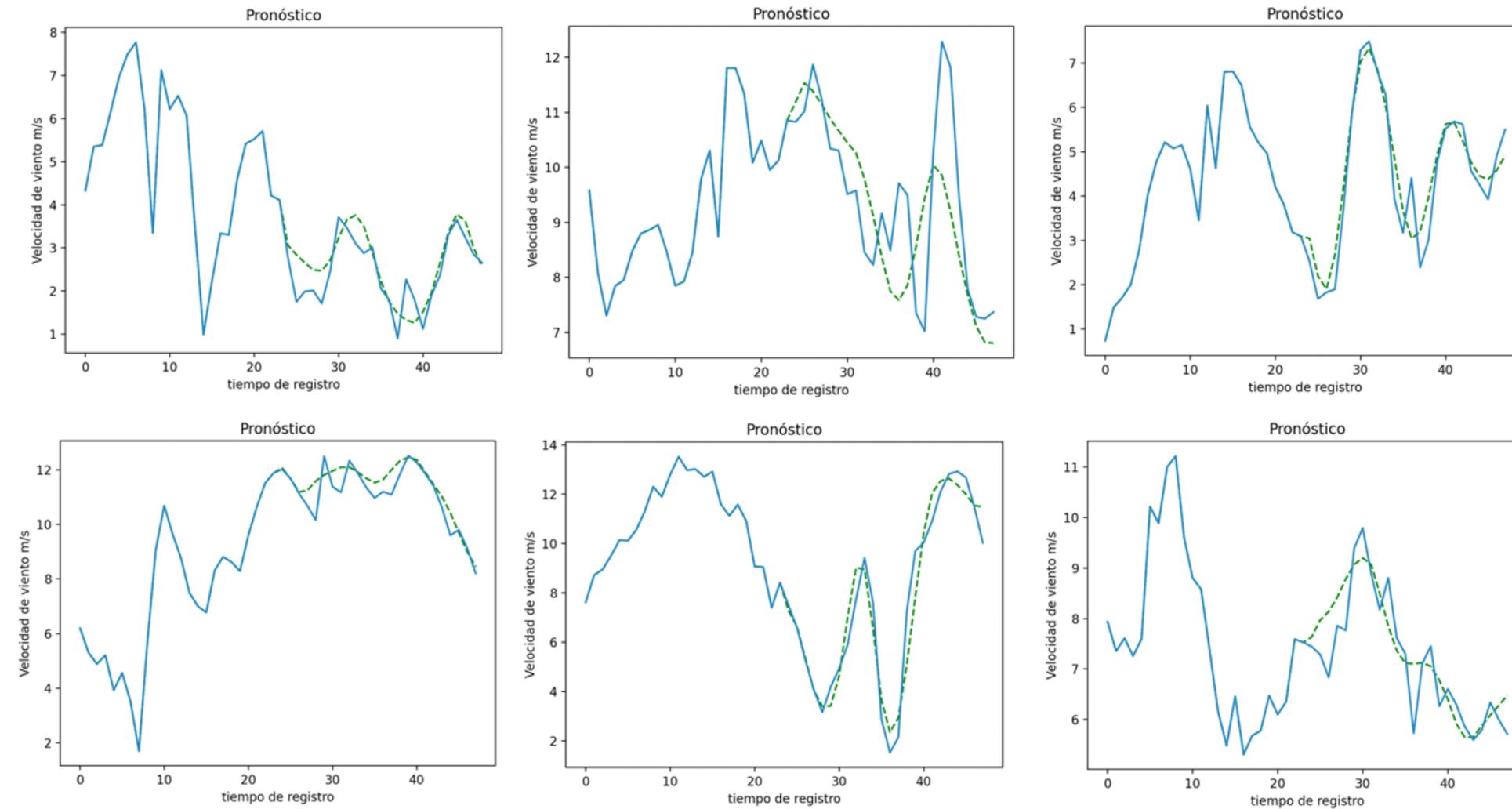
Resultados: 24 horas en adelante



```
MAPE tiempo t+1: 12.7%
MAPE tiempo t+2: 11.0%
MAPE tiempo t+3: 10.9%
MAPE tiempo t+4: 11.1%
MAPE tiempo t+5: 11.2%
MAPE tiempo t+6: 11.6%
MAPE tiempo t+7: 11.3%
MAPE tiempo t+8: 11.5%
MAPE tiempo t+9: 11.5%
MAPE tiempo t+10: 11.7%
MAPE tiempo t+11: 11.6%
MAPE tiempo t+12: 11.5%
MAPE tiempo t+13: 11.7%
MAPE tiempo t+14: 11.6%
MAPE tiempo t+15: 11.8%
MAPE tiempo t+16: 12.2%
MAPE tiempo t+17: 11.4%
MAPE tiempo t+18: 11.9%
MAPE tiempo t+19: 12.6%
MAPE tiempo t+20: 11.7%
MAPE tiempo t+21: 11.3%
MAPE tiempo t+22: 11.4%
MAPE tiempo t+23: 12.4%
MAPE tiempo t+24: 14.4%
```

Pronóstico de velocidad de viento

Resultados: 24 horas en adelante

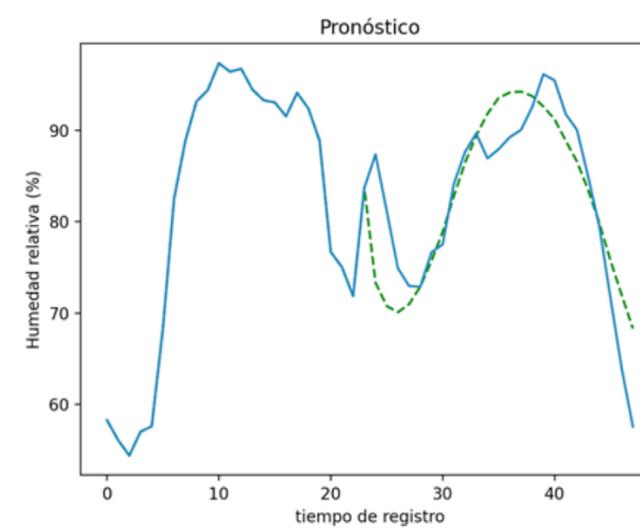
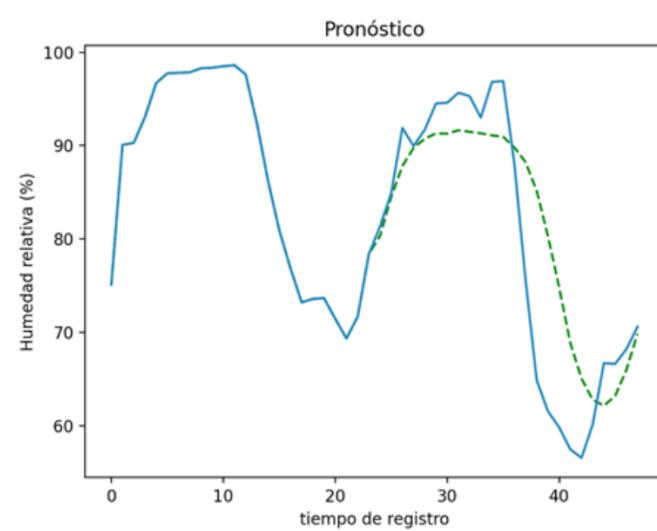
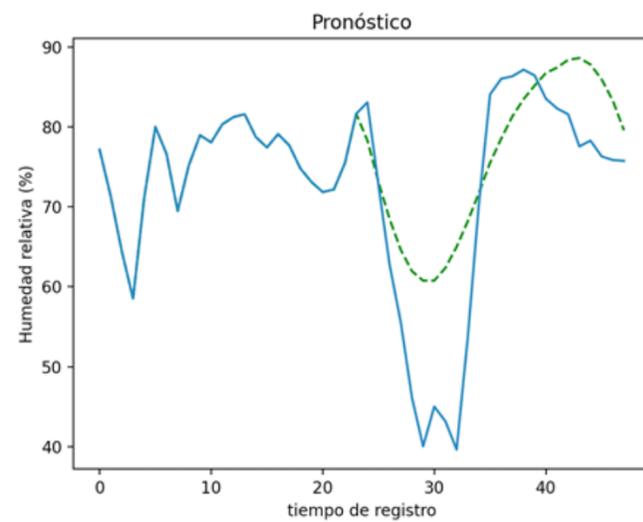
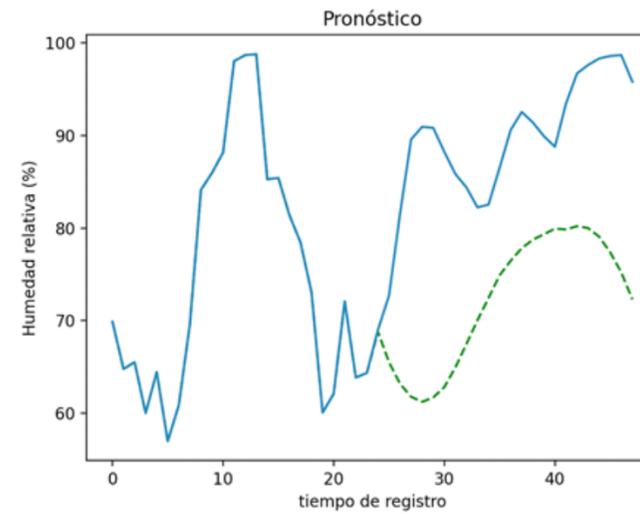
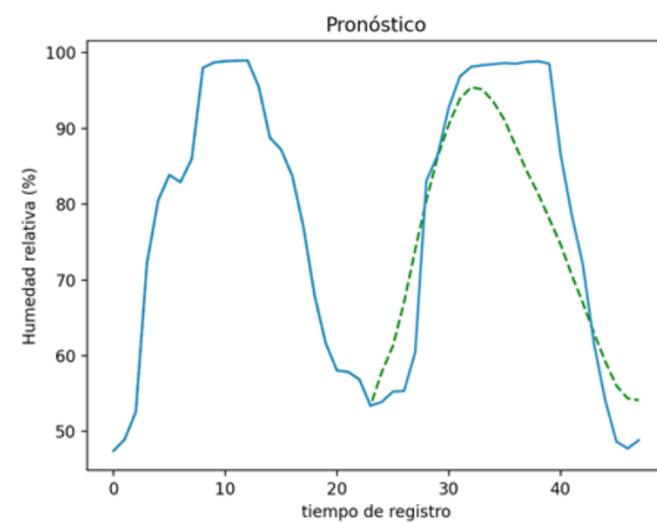
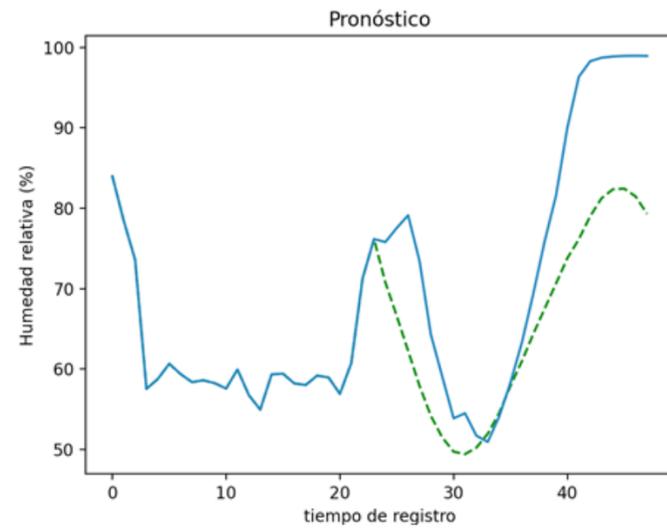


MAPE tiempo t+1:	12.7%
MAPE tiempo t+2:	11.0%
MAPE tiempo t+3:	10.9%
MAPE tiempo t+4:	11.1%
MAPE tiempo t+5:	11.2%
MAPE tiempo t+6:	11.6%
MAPE tiempo t+7:	11.3%
MAPE tiempo t+8:	11.5%
MAPE tiempo t+9:	11.5%
MAPE tiempo t+10:	11.7%
MAPE tiempo t+11:	11.6%
MAPE tiempo t+12:	11.5%
MAPE tiempo t+13:	11.7%
MAPE tiempo t+14:	11.6%
MAPE tiempo t+15:	11.8%
MAPE tiempo t+16:	12.2%
MAPE tiempo t+17:	11.4%
MAPE tiempo t+18:	11.9%
MAPE tiempo t+19:	12.6%
MAPE tiempo t+20:	11.7%
MAPE tiempo t+21:	11.3%
MAPE tiempo t+22:	11.4%
MAPE tiempo t+23:	12.4%
MAPE tiempo t+24:	14.4%

MAPE = Porcentaje de error medio absoluto

Pronóstico de humedad

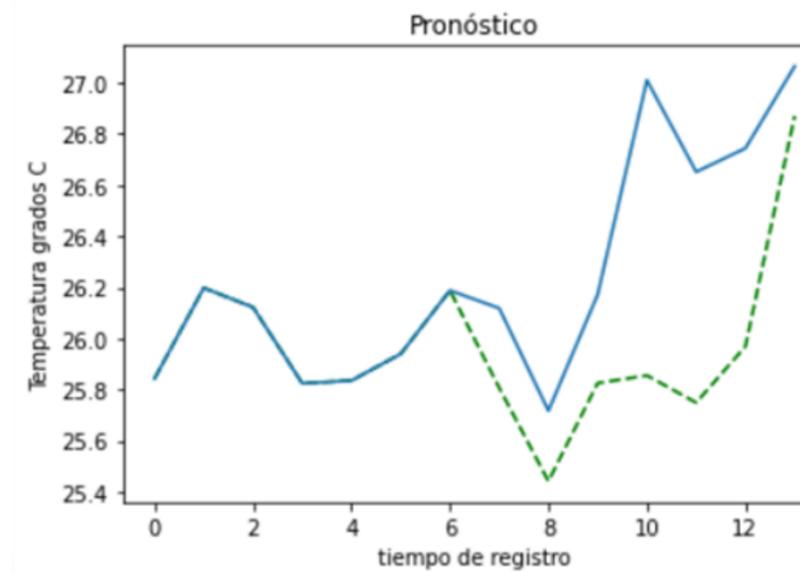
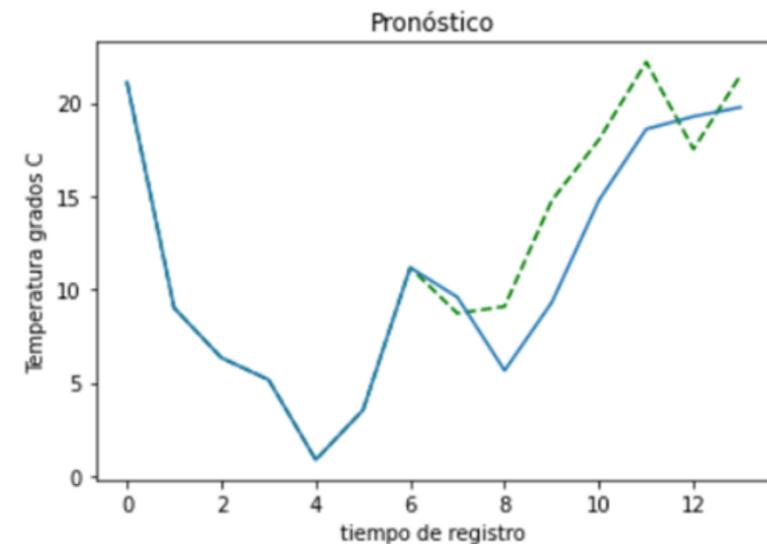
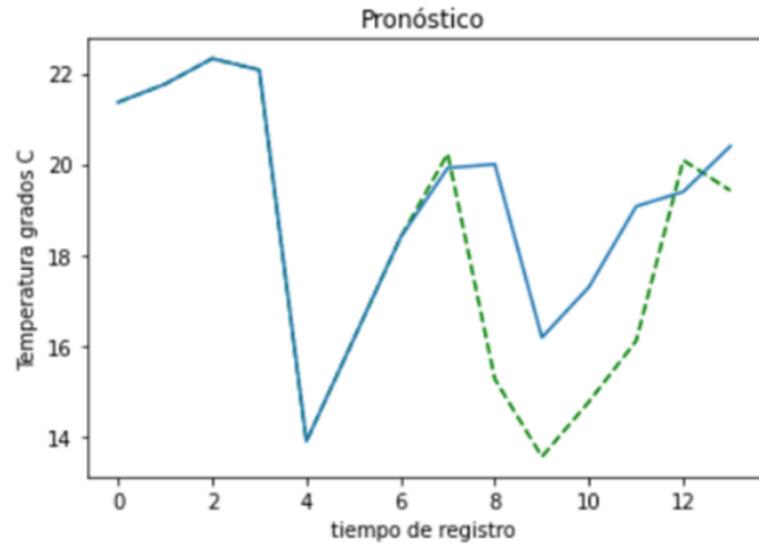
Resultados: 24 horas en adelante



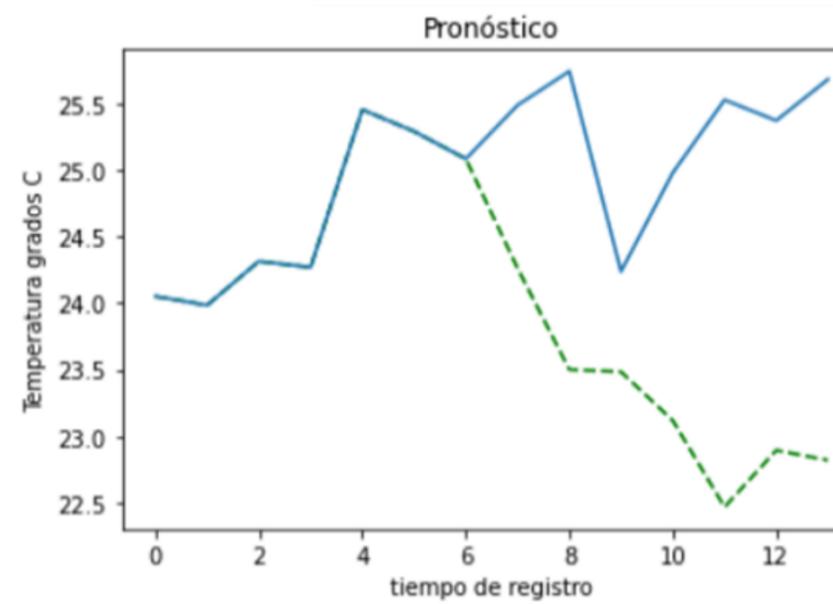
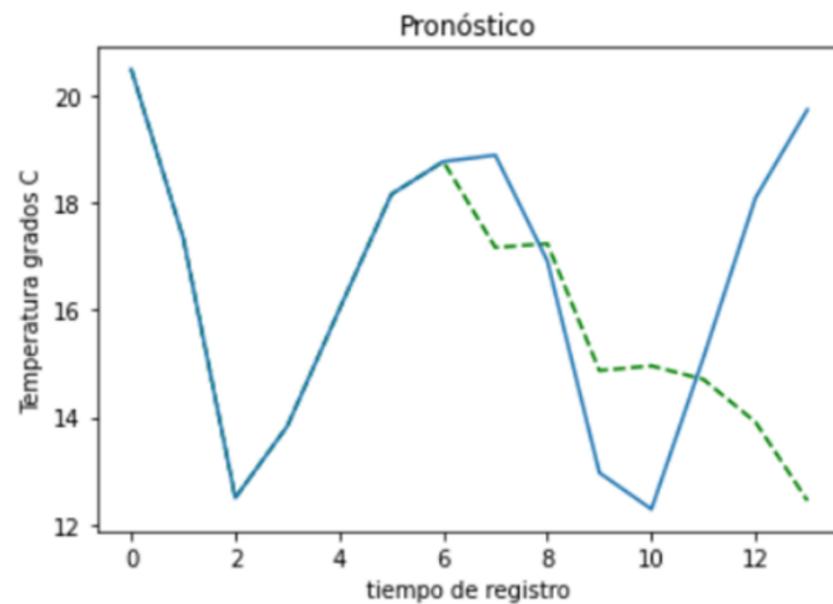
MAPE tiempo t+1: 14.8%
MAPE tiempo t+2: 15.6%
MAPE tiempo t+3: 15.6%
MAPE tiempo t+4: 15.4%
MAPE tiempo t+5: 15.3%
MAPE tiempo t+6: 15.5%
MAPE tiempo t+7: 15.9%
MAPE tiempo t+8: 16.5%
MAPE tiempo t+9: 17.1%
MAPE tiempo t+10: 17.5%
MAPE tiempo t+11: 17.7%
MAPE tiempo t+12: 17.7%
MAPE tiempo t+13: 18.2%
MAPE tiempo t+14: 18.3%
MAPE tiempo t+15: 18.7%
MAPE tiempo t+16: 19.2%
MAPE tiempo t+17: 19.3%
MAPE tiempo t+18: 19.2%
MAPE tiempo t+19: 18.9%
MAPE tiempo t+20: 18.5%
MAPE tiempo t+21: 18.4%
MAPE tiempo t+22: 18.4%
MAPE tiempo t+23: 18.3%
MAPE tiempo t+24: 18.6%

Pronóstico de temperatura

Resultados: 7 días en adelante

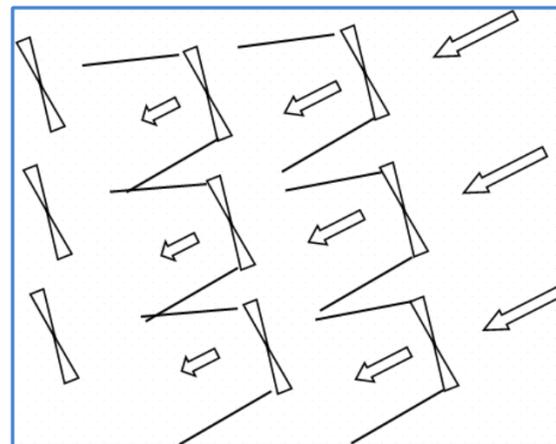
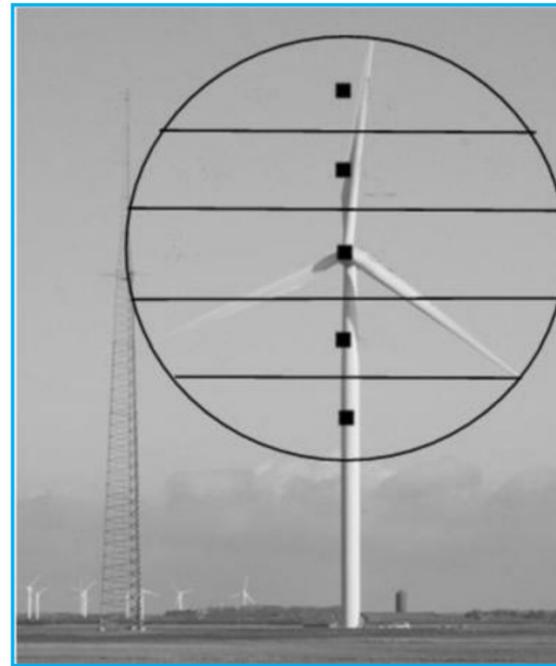
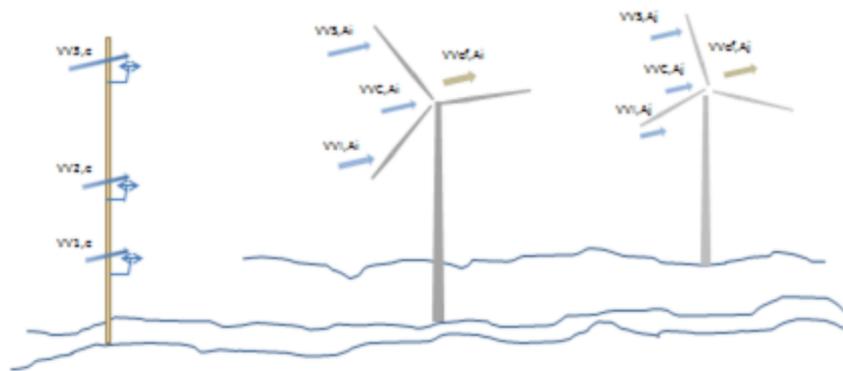


MAPE tiempo t+1: 11.4%
MAPE tiempo t+2: 16.9%
MAPE tiempo t+3: 15.6%
MAPE tiempo t+4: 15.6%
MAPE tiempo t+5: 17.0%
MAPE tiempo t+6: 16.8%
MAPE tiempo t+7: 18.0%



Generación eléctrica en un parque eólico

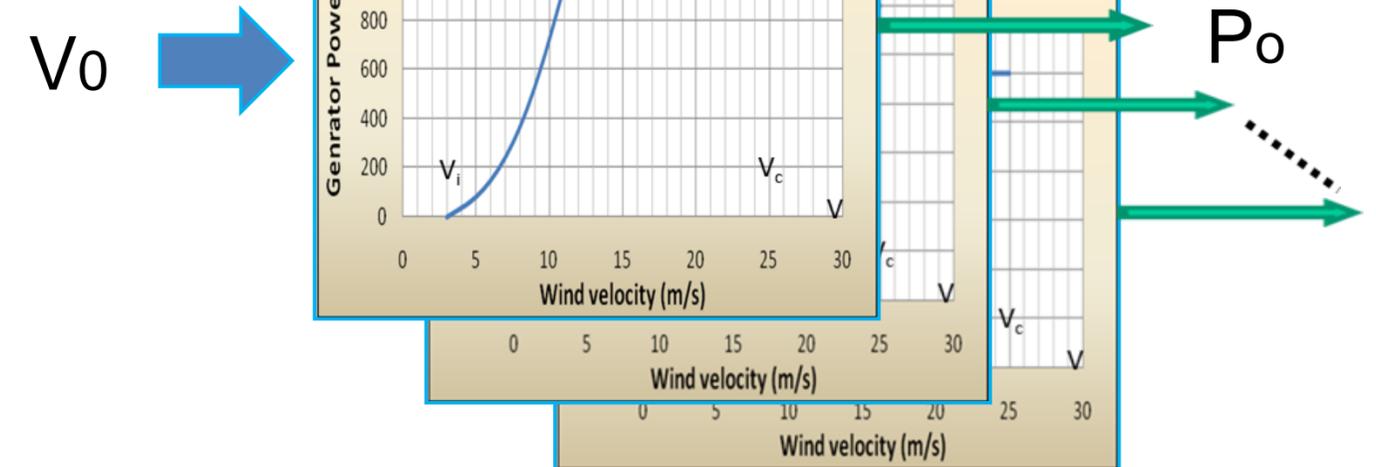
MODELADO DE UN PARQUE EÓLICO CON
GENERADORES DE EJE HORIZONTAL
MODELO:



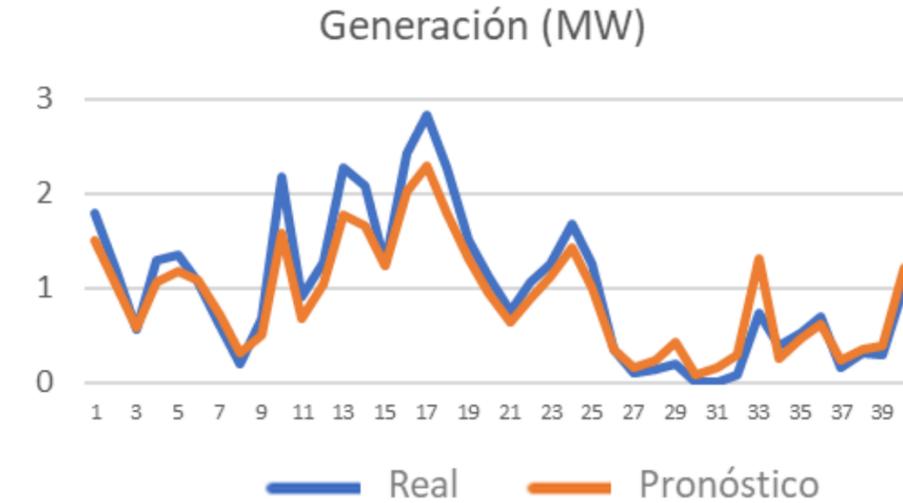
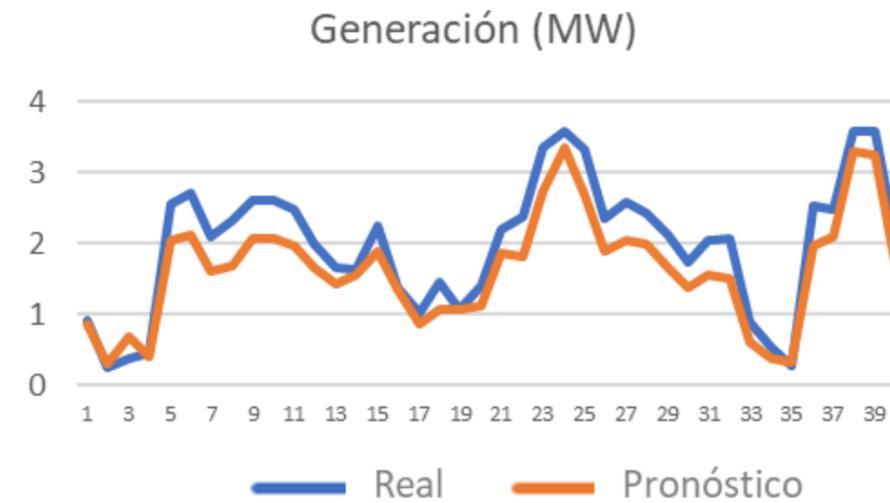
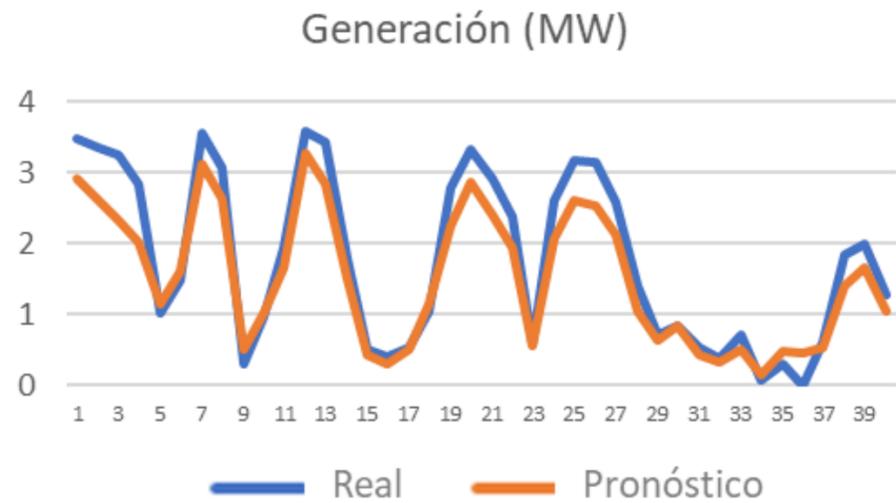
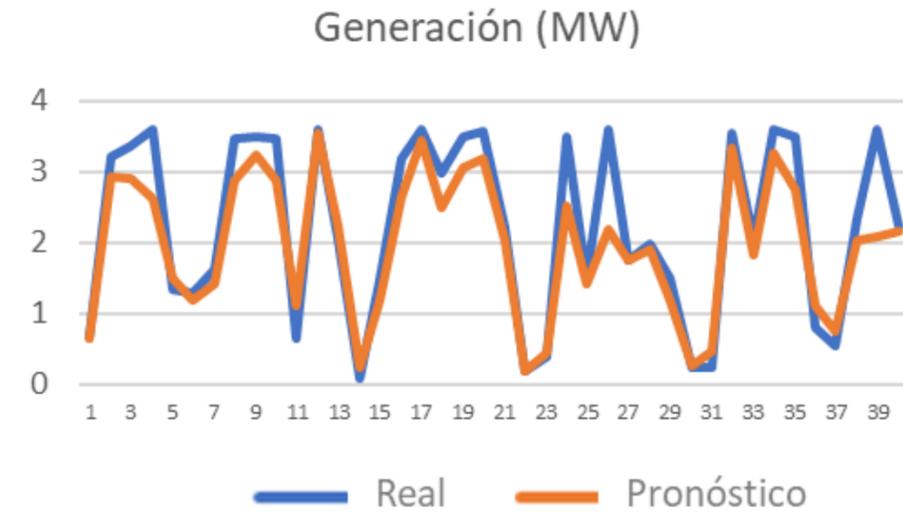
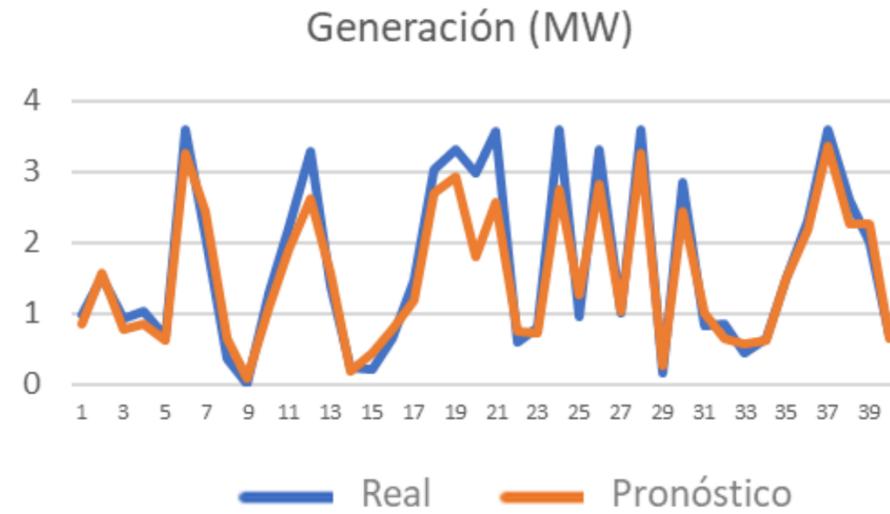
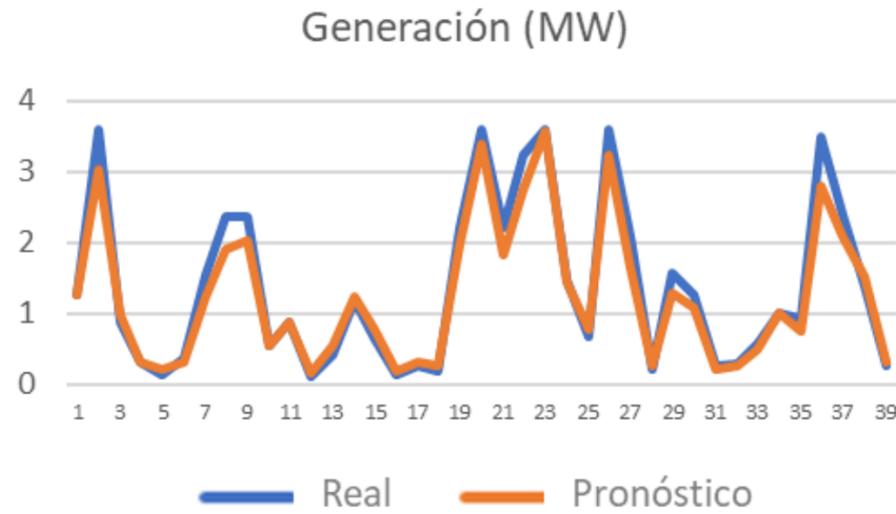
Se ajusta V_0 considerando:

- Altura del AGEH respecto a la de medición de V_0
- Curva de diseño a curva real
- Sombras de viento

Un aerogenerador típicamente genera electricidad entre 3 y 20 m/s de velocidad de viento.



Pronóstico de generación eléctrica



Errores

AG	MAE	RMSE	MASE	DA(%)
1	0.3178	0.4356	0.4068	94.2779
2	0.3175	0.4321	0.4051	92.0981
3	0.3171	0.4304	0.4025	93.733

Conclusiones

- Se comentó la importancia y usos de un buen pronóstico de potencia eléctrica en el sector de energía.
- Se comentaron los métodos de pronóstico basados en IA y en particular las técnicas de aprendizaje profundo.
- Se presentaron resultados obtenidos con redes recurrentes tipo LSTM para generación de un parque, y otras variables relacionadas como temperatura y humedad relativa.
- Actualmente, los modelos construidos con esta metodología se encuentran en operación en un parque en el norte de México.
- Se han realizado algunos experimentos con datos de irradiancia solar con buenos resultados.

[DEMO](#)

¡GRACIAS!

Alberto Reyes Ballesteros

areyes@ineel.mx



EU-LAC Foundation
Fundación EU-LAC