



Simulación por Computadora en la Predicción del Clima

Martin Alonso Gómez Uribe

Guiselle Tatiana Zambrano Penagos

Raul Eduardo Gomez Torres

Universidad Nacional de Colombia

Bogotá, Colombia

2021

Índice

Resumen	2
Abstract	2
Introducción	2
Predicción del clima	3
Modelado y simulación	3
Modelo Climático y predicción del clima	4
Machine Learning en la meteorología actual	4
Conclusiones	6
Referencias	7

Resumen

En este documento se presentará, de forma parcial, el recorrido de la humanidad en la búsqueda de patrones, eventos y fenómenos meteorológicos hasta llegar a crear herramientas poderosas que les permita predecir, clasificar y obtener información de valor en este campo. Para ello, presentaremos la importancia de recolección de datos de calidad para la obtención de información, que puede facilitar el descubrimiento de nuevos patrones y la generalización de reglas, estas a su vez pueden ser usadas para crear modelos, simples o algunos más robustos que usan machine learning, que simulan eventos de interés, permitiendo tomar decisiones importantes a partir de sus resultados.

Palabras claves: Simulación, modelamiento, meteorología, machine learning.

Abstract

This document will present, in part, the journey of humanity in the search for patterns, events and meteorological phenomena until it comes to creating powerful tools that would allow predicting, classify and obtain valuable information in this field. To do this, we will present the importance of collecting quality data to obtain information, which can facilitate the discovery of new patterns and the generalization of rules, these, in turn, can be used to create models, simple or some more robust that use machine learning, which simulates events of interest, allowing important decisions to be made based on their results.

Key words: Simulation, modeling, meteorology, machine learning

Introducción

A lo largo de la historia, los seres humanos se han caracterizado por buscar explicación a los fenómenos que los rodeaban, usualmente asociaban estos a ciclos o patrones en los cuerpos espaciales como estrellas y planetas, luego su conocimiento se fue ampliando y lograron comprender poco a poco la interrelación e impacto de los fenómenos atmosféricos, meteorológicos, climáticos y demás.

Actualmente además de darle importancia a la recolección de datos y la confirmación de teorías que interrelacionan fenómenos, se busca obtener información nueva con el uso de supercomputadoras capaces de procesar grandes cantidades de datos y otorgar información, patrones y abstracciones, más eficientes con las que se puede trabajar de forma más eficaz; para comprender toda esta evolución nos adentraremos un poco al recorrido que ha realizado la humanidad para explicar fenómenos nuevos y para finalmente crear herramientas de predicción novedosas y considerablemente confiables.

Predicción del clima

La predicción meteorológica se refiere a los sistemas que usan datos meteorológicos actuales para impulsar modelos físico-matemáticos complejos de la atmósfera para predecir la evolución meteorológica.

Históricamente, los humanos han intentado comprender el comportamiento de la atmósfera mediante el estudio de los patrones y las relaciones entre los fenómenos y relacionándolos con eventos futuros, los orígenes de la predicción meteorológica se remontan prácticamente a los orígenes de la humanidad; ya nuestros ancestros, al observar la bóveda celeste, comenzaron a establecer primitivas reglas de predicción, basadas en las tonalidades del cielo o en el tipo de nubes, fueron dándose cuenta de que los cambios en el aspecto del cielo solían traducirse en cambios de tiempo. Esto era importante para ellos, ya que su supervivencia dependía en gran medida del factor ambiental.

Con el tiempo, una serie de creencias comenzaron a afianzarse en torno al tiempo y al clima que se fueron transmitiendo. Muchas de esas creencias, especialmente las que pretenden prever el tiempo a largo plazo (tales como las cabañuelas o las témporas), no tienen base científica, a pesar de lo cual, han resistido el paso de los siglos.

La predicción meteorológica basada en el método científico vio la luz recién a mediados del siglo XIX, por un famoso astrónomo de la época, el francés Urbain Le Verrier (1811-1877). En este punto, las observaciones meteorológicas diarias ya estaban en curso en las principales ciudades europeas, aunque aún no se disponía de la capacidad para hacer predicciones. Este hecho cambió rápidamente con el desarrollo del telégrafo.

En 1922, L. F. Richardson propuso el uso de ecuaciones básicas de mecánica de fluidos para modelar los movimientos de la atmósfera. En ese momento, no había forma de automatizar los cálculos, por lo que a este autor se le ocurrió la idea de dividir la superficie de la Tierra en células y usando personas para resolver las ecuaciones diferenciales que describen los movimientos de la atmósfera. Según sus estimaciones, se necesitaría un ejército de 64.000 personas para producir un pronóstico actualizado para todo el planeta. Desafortunadamente, debido al tamaño de este proyecto, la idea de Richardson nunca se implementó, y Los pronósticos meteorológicos mundiales tuvieron que esperar.

Modelado y simulación

El modelado y simulación es una disciplina científica que permite una comprensión difícil de alcanzar con cualquier otro enfoque disciplinar. Al integrar técnicas matemáticas, formales, conceptuales y computacionales, se pueden realizar estudios e investigaciones en casi cualquier área del conocimiento.

Un modelo puede entenderse como una representación de un objeto o un sistema. Mediante el modelado se intenta comprender un fenómeno o un proceso y esto implica estudiar la

interacción entre las partes de un sistema. La simulación, por su parte, debe permitir la operación matemática y computacional del modelo para representar el comportamiento de un sistema. Los modelos no son propiamente teorías científicas y las simulaciones no son tampoco propiamente experimentos científicos; pero permiten una predicción cercana de sucesos posibles en un campo en específico como puede ser el clima o la meteorología propiamente dicha.

Modelo Climático y predicción del clima

Un modelo climático es una versión computarizada del sistema meteorológico de la Tierra basado en la física y ecuaciones complejas. Estos modelos se pueden para los pronósticos del tiempo o entender el clima. Un modelo con muy buena resolución podría dar resultados más precisos, pero eso depende de la capacidad de la computadora.

Al final de la Segunda Guerra Mundial, cuando las computadoras electrónicas y los datos de sondeo estuvieron disponibles, Estados Unidos lideró un ambicioso proyecto para implementar el primer sistema automatizado de predicción. En 1950, los meteorólogos Jule Charney, Agnar Fjørtoft y el matemático John von Neumann publicaron un artículo titulado "Numerical Integration of the Barotropic Vorticity Equation" (Charney, Fjørtoft, y Neumann, 1950), que sienta las bases para los modelos meteorológicos informáticos, estableciendo los fundamentos de la predicción numérica del tiempo tal como la conocemos hoy. El trabajo resultó en la implementación del primer pronóstico del tiempo por computadoras electrónicas. El modelo se implementó y ejecutó operativamente en la computadora ENIAC, en la Universidad de Pennsylvania. Debido a las limitaciones de capacidad de esta computadora, se necesitaron 24 horas de tiempo de procesamiento para generar un pronóstico de 24 horas, lo que limitó su aplicación práctica, ya que no podía predecir eficazmente el futuro.

Desde la década de 1950, las computadoras se han utilizado para simular el estado y la evolución de la atmósfera utilizando modelos NWP (Numerical weather prediction). Estos modelos utilizan un conjunto de ecuaciones diferenciales no lineales para aproximar el estado y la evolución de la atmósfera, que se conocen como ecuaciones primitivas.

Machine Learning en la meteorología actual

En la actualidad existen grandes computadores con capacidades considerables de almacenamiento y procesamiento, aún más importante que la escalabilidad de recursos computacionales, es el potencial que se obtiene al procesar estos datos, el uso de algoritmos de machine learning basados en árboles, redes neuronales, entre otros, facilita el procesamiento de grandes cantidades de datos como los que son arrojados en las mediciones atmosféricas, de temperatura y demás.

Estos algoritmos pueden hallar nueva información, nuevos patrones y facilitar la toma de decisiones, pero también pueden facilitar tareas que antes eran realizadas por seres humanos,

estos son capaces de catalogar entradas en grupos previamente definidos, por medio del aprendizaje supervisado, o pueden hallar y catalogar la información en nuevos grupos por medio del aprendizaje no supervisado. Estos algoritmos no solo se limitan a eso, ya que son capaces de realizar predicciones de confiabilidad considerable, basados en el historial de entradas con los que han sido entrenados; a continuación expondremos 3 casos recientes en el que el uso de esta tecnología ha logrado mejorar la obtención de información de valor, en las medidas meteorológicas percibidas.

El primer ejemplo nos mostrará como el aprendizaje automático ha permitido mejorar la estimación de la temperatura media en China. El cálculo de la temperatura media ponderada (T_m) requiere perfiles verticales de temperatura y presión de vapor de agua que son difíciles de adquirir en la práctica. Como resultado, los modelos empíricos se utilizan ampliamente pero tienen una precisión limitada. El trabajo realizado por Zhangyu Sun y su equipo, consistió en utilizar las observaciones de radiosondas de alta calidad estimadas T_m para calibrar y optimizar la T_m empírica a través de métodos de aprendizaje automático.

En este estudio, utilizaron tres métodos de aprendizaje automático, los cuales son: el bosque aleatorio (RF), la red neuronal de retropropagación (BPNN) y red neuronal de regresión generalizada (GRNN). Los resultados de la validación muestran que los tres métodos de aprendizaje automático mejoran la precisión de la T_m en un 37,2%, 32,6% y 34,9% en comparación con el modelo 3 de presión y temperatura global (GPT3). Además de la mejora general de la precisión, los métodos propuestos también mitigan las variaciones de precisión en el espacio y el tiempo, lo que garantiza una precisión uniformemente alta (Sun et al., 2021, 1).

Otro trabajo interesante, es el realizado por Roland Stirnberg y su equipo, cuyo objetivo fue la detección de la variabilidad de la contaminación del aire. La contaminación del aire, en particular las altas concentraciones de material particulado de menos de $1\ \mu\text{m}$ de diámetro (PM_{10}), sigue siendo un problema de salud importante, y se sabe que la meteorología y demás carreras afines buscan medir y/o explicar el comportamiento de las mismas, sin embargo, las interacciones complejas de factores meteorológicos conducen a episodios de alta contaminación y su explicación a fondo no es concluyente.

En este estudio, se utiliza un enfoque novedoso impulsado por datos basado en relaciones empíricas para caracterizar y comprender mejor el componente de variabilidad de PM_{10} , se configura un modelo de aprendizaje automático basado en árboles para reproducir concentraciones de PM_{10} espaciado en un sitio suburbano al suroeste de París, Francia, utilizando variables meteorológicas como características de entrada. El modelo es capaz de capturar la mayor parte de la varianza de las concentraciones medias totales de PM_{10} por la tarde (coeficiente de determinación (R^2) de 0,58), y el rendimiento del modelo depende de la especie de PM_{10} individual prevista.

Con base en los modelos, se logra un aislamiento y cuantificación de las influencias meteorológicas individuales y específicas de la estación para la comprensión del proceso en el

sitio de medición utilizando valores de regresión de Explicación aditiva SHapley (SHAP). Los resultados del modelo sugieren que los episodios de contaminación invernal a menudo son impulsados por una combinación de alturas de capas mixtas poco profundas (MLH), bajas temperaturas, bajas velocidades del viento o afluencia desde direcciones del viento del noreste (Stirnberg et al., 2021, 8).

El último ejemplo de acogimiento de algoritmos de machine learning en las mediciones meteorológicas, es el del trabajo realizado por Ziyu Zhang y su equipo, estos explotaron las ventajas del aprendizaje automático con el fin de estimar la resolución de concentración de sulfato en la isla de Taiwán.

Las cargas pesadas de aerosol de sulfato desencadenan la formación de neblina y suponen un gran daño para la salud humana en la isla de Taiwán. Sin embargo, la variación espacio-temporal de alta resolución del sulfato ambiental en la isla de Taiwán aún se desconoce debido a los escasos sitios de monitoreo. Por lo tanto, desarrollaron un modelo de conjunto novedoso aumento de gradiente extremo junto con regresión ponderada geográfica y temporal (XGBoost-GTWR) para predecir la concentración de sulfato de alta resolución (0.05 °) basada en datos de satélite, meteorología asimilada y la salida del transporte químico.

El resultado sugirió que el modelo XGBoost GTWR superó a otros cinco modelos en la predicción de la concentración de sulfato con el valor R^2 más alto ($R^2 = 0,58$) y el error cuadrático medio relativo más bajo ($RMSE = 1,96 \mu g / m^3$). Además, la transferibilidad del modelo XGBoost-GTWR también se validó con base en los datos de sulfato a nivel del suelo en 2019. El resultado sugirió que el valor R^2 de la ecuación de extrapolación (0.53) no mostró una disminución notable en comparación con el 10 veces resultado de validación cruzada (0,58), que indica que el modelo era robusto para predecir la concentración de sulfato. El uso de esta tecnología permitió caracterizar la distribución del sulfato ambiental en la isla de Taiwán, mostró una variación espacial con la más alta en el suroeste de Taiwán y la más baja en el noreste de Taiwán, respectivamente. También se halló la relación en el aumento y disminución en los índices, se encontró que la mayor concentración de sulfato en primavera se debió principalmente a la densa quema de biomasa y la escasa cantidad de lluvia (Cui et al., 2021, 5).

Conclusiones

El objetivo fundamental de la simulación del clima es predecir lo que sucedería en caso de darse determinadas alteraciones de las condiciones anteriormente conocidas, como parte de la variabilidad climática estacional. A pesar de la inevitable incertidumbre de los modelos utilizados para estudiar el siempre cambiante clima, sus resultados ofrecen una alternativa para mirar sistemáticamente al futuro y evaluar posibles impactos y proponer respuestas que reducirán los impactos negativos y ayudarán a producir beneficios que resulten positivos o favorables.

Referencias

Bojaca Aldana, C. R., Diaz, D., Gil, R., Gutierrez, F., Burgos Bedout, J., & Villalobos, G.

(2017). Modelado y simulación de sistemas naturales (F. Calar, Ed.). *Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería. Departamento de Ciencias Básicas.*

https://www.utadeo.edu.co/files/node/publication/field_attached_file/modelado_y_simulacion-_pag.pdf

Cui, L., Ma, Q., Li, R., Fu, H., Zhang, Z., Zhang, L., & Chen, Y. (2021, Enero 22).

High-resolution estimation of ambient sulfate concentration over Taiwan Island using a novel ensemble machine-learning model. *Springer*, 10(1002), 11.

<https://doi.org/10.1007/s11356-021-12418-7>

Expansión MX. (2011, 09 02). Las computadoras podrían predecir los desastres meteorológicos. *Expansión MX*.

<https://expansion.mx/tecnologia/2011/09/02/las-computadoras-podrian-predecir-los-desastres-meteorologicos>

Modelos de simulación y herramientas de modelaje: elementos conceptuales y sistematización de herramientas para apoyar el análisis de impactos de la variabilidad y el cambio climático sobre las actividades agrícolas. (2015). Unión Europea, IICA.

<https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/3045/BVE17068957e.pdf;jsessionid=D002A843F9418EAF1A664D770838ACE9?sequence=1>

Parker, W. S. (2014). *Simulation and Understanding in the Study of Weather and Climate* (Vol. 3). The Massachusetts Institute of Technology.

http://www.mitpressjournals.org/doi/pdf/10.1162/POSC_a_00137

Rozas Larraondo, P. (2018). *Application of machine learning techniques to weather forecasting*. Universidad del País Vasco.

https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/32532/TESIS_ROZAS_LARRAONDO_PABLO.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Stirnberg, R., Cermak, J., Kotthaus, S., Haeffelin, M., Andersen, H., Fuchs, J., Kim, M., Petit, J., & Favez, O. (2021, Marzo 17). Meteorology-driven variability of air pollution (PM₁₀) revealed with explainable machine learning. *EGU*, 21(5), 30.

Sun, Z., Zhang, B., & Yao, Y. (2021, Marzo 08). Improving the Estimation of Weighted Mean Temperature in China Using Machine Learning Methods. *Remote Sensing*, 13(1016), 18. MDPI. <https://doi.org/10.3390/rs13051016>

Viñas Rubio, J. M. (2013). *ORIGEN Y DESARROLLOS ACTUALES DE LA PREDICCIÓN METEOROLÓGICA*. Encuentros Multidisciplinarios.

<http://www.encuentros-multidisciplinares.org/Revistano45/Jose%20Miguel%20Viñas.pdf>