



FOTOGRAFÍA DE GUILLERMO SANTOS.
Cuando los cerros orientales de Bogotá están nublados, es muy probable que llueva en la ciudad.

Armando el rompecabezas del estado del tiempo en Bogotá

Investigadores de las universidades Javeriana y Nacional prueban la calidad de diferentes métodos de interpolación para calcular la distribución de las lluvias en Bogotá. Su objetivo final: tener herramientas para predecir mejor el clima en el corto plazo.

Por Silvia Montaña

Históricamente, la predicción del tiempo ha sido de gran importancia para la planificación de las actividades humanas, desde las más urgentes (cuándo sembrar y cosechar, escoger el momento propicio para construir una edificación) hasta las más mundanas (¿lloverá durante la inauguración de un festival de teatro?). En algunos países, estos servicios de meteorología exhiben una precisión asombrosa. Por ejemplo, en el torneo de tenis de Wimbledon, los organizadores utilizaron predicciones con exactitud de minutos para determinar cuándo debían empezar a cerrar el techo de la cancha central porque se aproximaba la lluvia.

En nuestro país, la predicción meteorológica no goza de tan buena reputación. A pesar de que los grandes ciclos de temporadas secas y húmedas son tan conocidos que han impregnado el habla popular (“en abril, aguas mil”), la predicción a corto plazo

no es tan exitosa. Muchos aún recurren a la sabiduría heredada de sus padres para decidir si llevar o no un paraguas: que los cerros orientales estén nublados o sentir que la atmósfera produce bochorno suelen ser indicios de lluvias futuras.

El problema para pronosticar el estado del tiempo en Colombia tiene su origen en dificultades reales de la propia geografía del país y en el estudio más bien reciente de nuestro clima, el cual se ha investigado tan solo desde hace unas tres décadas. En cuanto a la situación geográfica, Colombia está localizada en el trópico, aquella zona que recibe más energía solar. Esta energía es la responsable de crear los patrones atmosféricos (las nubes, el viento) y el clima. Cuanto mayor sea la energía recibida, mayor será el movimiento de estos patrones atmosféricos y más difícil será predecir el clima.

Una dificultad adicional se explica por la ubicación del país en la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), una franja formada

por una serie de corrientes de aire que recorren el planeta y que arrastran la humedad procedente del Sahara. Esto convierte a Colombia en uno de los países más lluviosos del mundo y al departamento del Chocó en el más lluvioso del territorio nacional. La humedad se canaliza en las cordilleras, por lo que los cerros orientales, para el caso específico de la capital, constituyen una barrera física y la retienen.

La dificultad en el pronóstico del clima puede desanimar a cualquiera y hacer pensar que dicha tarea es imposible. Sin embargo, para un grupo interdisciplinar de científicos (ingenieros, matemáticos, biólogos, ecólogos y economistas, entre otros) del Instituto Geofísico la Universidad Javeriana, en alianza con científicos de la Universidad Nacional, este escollo es visto como un reto. Su objetivo final es desarrollar herramientas para mejorar la predicción de los patrones climáticos en el corto plazo, es decir, para determinar en qué zona va a llover y con cuánta intensidad. Esta información es vital a fin de establecer la manera óptima de organizar el alcantarillado o qué regiones pueden sufrir inundaciones o deslizamientos, y tomar las medidas respectivas orientadas a proteger a sus habitantes y su infraestructura. Con el objetivo de hacer el problema manejable, su zona de interés más cercana es precisamente la ciudad de Bogotá.

El primer paso para armar este gigantesco rompecabezas climático es reunir la información disponible, la dirección e intensidad de los vientos, la temperatura y humedad del aire o el registro de la cantidad de lluvia que cayó en una zona específica de Bogotá. Esta información proviene de diferentes fuentes, estaciones pluviométricas, imágenes satelitales o radares meteorológicos. En

este punto, los investigadores, liderados por el ingeniero Nelson Obregón, director del Instituto Geofísico de la Javeriana, encontraron la primera dificultad: la información del nivel de precipitación es recogida por diferentes estaciones meteorológicas diseñadas para tal fin y localizadas en zonas específicas dentro de la ciudad. Lamentablemente, la distribución de esas estaciones ha dependido de las necesidades particulares de las entidades que las controlan y no de un criterio técnico-científico unificado. Por ejemplo, el Fondo de Prevención y Atención de Emergencias (Fopae) concentra sus estaciones en los cerros orientales de la ciudad, ya que su objetivo fundamental es generar alertas tempranas de inundaciones y deslizamientos de tierra en esta zona. El Acueducto de Bogotá concentra las suyas en algunas microcuencas de su interés. La Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá sigue un criterio con el propósito de medir la calidad del aire, mientras que el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam) tiene una estación en el aeropuerto El Dorado (para controlar el tráfico aéreo), y otras zonas de interés hidrológico y meteorológico. Además, gran parte de la información recogida por estas estaciones no es de uso público y recopilarla exige la firma de convenios u otras estrategias.

El objetivo central del grupo de investigación en esta fase del estudio era establecer cómo usar la información recogida por las diferentes estaciones para calcular matemáticamente cuánta lluvia cae en cada punto de Bogotá. Como no existen muchas estaciones, y además están alejadas geográficamente unas de otras, el grupo se dio a la tarea de comparar los diferentes métodos de interpolación utilizados para generar la información de la lluvia que cae en zonas donde no hay datos disponibles, y partió en cada caso de la información con la que se cuenta.

Para explicar en qué consiste la interpolación, nada mejor que un ejemplo. La idea básica es partir de una serie incompleta (con huecos) de números y utilizar aquellos que están disponibles para llenar los vacíos de la forma más lógica posible. A menudo, dicha lógica tiene que ver con la estructura interna del fenómeno que dio origen a esos números. Por ejemplo, si una serie de números es 2, 4, 6, _, 10, el ejercicio de interpolación identificaría que todos los números son pares y que el número faltante debería ser 8.

Por supuesto, el problema real es muchísimo más complejo en varios sentidos. En primer lugar, ya no se trata de una serie de números organizados en una secuencia unidimensional, sino en un mapa. Es decir, la información de la que parten

los investigadores es un mapa de Bogotá, dividido en celdas, y solo en algunas de ellas existe información sobre cuánta lluvia cayó en un determinado momento. Las demás no contienen información. El objetivo de la interpolación es deducir, de la manera más aproximada posible, cuánta lluvia cayó en ellas.

Otra complicación tiene que ver con el fenómeno que da origen a los números observados. En el ejemplo anterior, la secuencia de los números pares. En el caso de esta investigación, la manera como la lluvia se distribuye sobre la ciudad de Bogotá y como se desplaza sobre ella en el tiempo.

Los investigadores no proponen un modo de interpolación nuevo, sino que pretenden comparar diferentes métodos matemáticos, todos ellos con una larga tradición en el estudio de problemas similares. Estos son el *kriging*, el inverso de la distancia (IDW) y el V4. La idea es tratar de ver cuál se ajusta a las características de la lluvia en Bogotá.

¿Cómo valorar cuál es el mejor método? El grupo de investigación utilizó una herramienta sencilla pero eficaz, conocida como validación cruzada. La idea es simple: se parte de una serie completa de datos y luego se borran algunos de ellos. A partir de los datos que restan, se utilizan las diferentes técnicas de interpolación que se quieren comparar para llenar los vacíos dejados en la serie original. Finalmente, se comparan los valores arrojados por los diferentes métodos de interpolación con los valores reales. El mejor método será aquel que esté más cerca de la realidad.

Para este caso, los ingenieros y matemáticos decidieron “borrar” la información de cinco de las estaciones observadas, aplicar los diferentes métodos de interpolación y comparar los resultados arrojados por cada uno con la información real de las estaciones “borradas”. La cercanía entre los valores calculados por los métodos de interpolación y los reales se determina calculando la suma de los errores (las diferencias entre ambos valores). También es posible hallar las correlaciones entre ambos valores (a mayor correlación, mayor coincidencia entre los valores interpolados y los reales) o comparar los valores gráficamente.

A partir de este estudio, el grupo de investigación puede aconsejar en qué lugares sería deseable instalar nuevas estaciones para monitorear el clima en Bogotá (niveles de lluvia, dirección y magnitud de los vientos, etc.). “Esta investigación también corrobora que los grandes aguaceros que afectan a la ciudad lo hacen con mayor frecuencia en las horas de la tarde y se concentran en los cerros orientales”, concluye Hugo Rico,



FOTOGRAFÍA DE GUILLERMO SANTOS.
¿Cómo medir qué tanta lluvia cae en Bogotá?

ingeniero civil e investigador del Instituto Geofísico. Según los resultados, los meses de mayor precipitación son abril y mayo, durante el primer semestre, y septiembre, octubre y noviembre, en el segundo. Finalmente, para mejorar el conocimiento y la predicción del estado del tiempo, es necesario integrar la información recogida por las diferentes instituciones que monitorean el clima en Bogotá, que hasta el momento tiene un carácter más bien disperso.

En la creación del sistema integrado de información y en el refinamiento de las metodologías matemáticas y físicas, este grupo de científicos está logrando no solo pronósticos acertados del estado del tiempo en Bogotá, sino un conocimiento histórico del clima colombiano que reemplaza con investigación a los más insólitos adivinos del tiempo en la capital. ■

PARA LEER MÁS

- » Vargas, A. et al. (2011, junio). “Análisis de la distribución e interpolación espacial de las lluvias en Bogotá, Colombia”. *Dyna* (Medellín) 78 (167): 151-159.