

---

## 50 AÑOS DE PREDICCIÓN NUMÉRICA DEL TIEMPO: IMPRESIONES DE UN SIMPOSIO CONMEMORATIVO

---

**JOAQUIN PELKOWSKI**

Profesor Asociado, Departamento de Geociencias-Facultad de Ciencias–Universidad Nacional de Colombia

---

**Pelkowski J.** 2000:50 Años de Predicción Numérica del Tiempo: Impresiones de un Simposio Conmemorativo. Meteorol. Colomb. 2:107-110. ISSN 0124-6984. Bogotá, D.C. – Colombia.

---

### RESUMEN

Se recogen en este breve artículo las impresiones de un simposio, que tuvo lugar en Potsdam, cerca de Berlín, en marzo de este año, en el que se conmemoró la primera integración numérica mediante una computadora electrónica. Se ofreció una vista panorámica del estado pasado, actual y futuro de la predicción numérica del tiempo y el clima.

### ABSTRACT

A few recollections of the symposium on “50 years of numerical weather prediction”, held at Potsdam, near Berlin, in March of this year, that I had the opportunity to attend are expected to be of some interest to the local meteorological community. A survey of the past, present and future state of numerical weather and climate prediction was offered.

El objetivo práctico de la meteorología ha sido, es y será la predicción del tiempo atmosférico. Hoy en día, sin embargo, los empeños de predicción se extienden al clima. El método moderno, con el cual se busca realizar dicho objetivo, se conoce como predicción numérica, e implica el uso de una computadora. Su origen data de 1950, cuando el grupo a cargo del célebre meteorólogo Jule Charney logra calcular con anticipación un campo meteorológico con rasgos realistas. El grupo, congregado por el genial matemático John von Neumann dos años antes, produjo mapas de la superficie de 500 hPa mediante el uso de la primera computadora electrónica. El éxito, un tanto sorprendente, se debe en gran parte a la feliz selección del modelo físico, basado en la conservación de la vorticidad absoluta (modelo barotrópico). Los resultados fueron publicados ese mismo año (**Charney et al.**, 1950<sup>1</sup>).

Un simposio conmemorando esta hazaña fue celebrado el 9 y 10 de marzo de este año, en Potsdam, Alemania. Yo tuve la oportunidad de asistir y creo que un breve relato de lo quedó relegado a mi memoria, muy selectivamente por cierto, puede interesar al lector

casual (en espera de las memorias de 200 páginas que se publicarán en el curso de este año). Pero no vacilaré en completar esta narración con algún dato histórico que no tomé de las conferencias de los 13 ilustres meteorólogos que tuvieron el honor de contribuir a una vista panorámica del estado pasado, presente y futuro de la predicción numérica.

La idea de integrar las ecuaciones fundamentales de la meteorología, con el propósito de hacer un pronóstico, no es muy reciente. En el siglo XIX, **Helmholtz** (1875) había indicado brevemente cómo proceder<sup>2</sup>, apenas se dispusiera de datos exactos, y en 1904 **Bjerknes** había publicado un artículo programático<sup>3</sup>, en el cual indicaba claramente cómo calcular los estados futuros de la atmósfera, partiendo de las ecuaciones fundamentales. Hacia 1908 Exner, meteorólogo austríaco, realizó un primer intento, tradicionalmente ignorado por la

---

<sup>2</sup> **Helmholtz H. von.** (1875): Wirbelstürme und Gewitter (Ciclones y tempestades). Vorträge und Reden, 1884, Braunschweig, pp. 141-164. Una traducción de esta interesante conferencia se publica en este número.

<sup>3</sup> **Bjerknes V.** (1904): Das Problem der Wettervorhersage, betrachtet vom Standpunkt der Mechanik und Physik. Meteorologische Zeitschrift, 21, 1-7. Una traducción de este clásico artículo se publica en este número.

---

<sup>1</sup> **Charney J., R. Fjörtoft & J. von Neumann**, 1950: Numerical Integration of the Barotropic Vorticity Equation. Tellus, 6, 309-318.

historiografía, de calcular anticipadamente la distribución de la presión en superficie, pero su esfuerzo no parece haber convencido a nadie, incluyendo su autor. Con o sin el conocimiento de ese conato, el cuáquero y versátil inglés L.F. Richardson publica en 1922, el resultado de su forma de atacar el problema de la integración numérica, sirviéndose del método de las diferencias finitas, y basándose en el conjunto completo de ecuaciones. El fracaso de Richardson fue rotundo y dejó pasmados a los meteorólogos, por el enorme esfuerzo que implicaba la integración numérica manual (con la sola ayuda de una máquina de despacho). Para calcular un estado futuro del tiempo antes de que reine, se requerían, según la fabulosa estimación de Richardson, nada menos que 64000 ayudantes calculadores, lo cual condenó el problema de la predicción numérica a quedar en vilo hasta el advenimiento de las primeras computadoras electrónicas digitales, hacia 1945. Von Neumann creó un proyecto meteorológico para demostrar el potencial de aquéllas en el progreso de las ciencias matemáticas, e incluso impulsó la construcción de una de ellas. El hecho es que, con el empleo del ENIAC (electronic numerical integrator and calculator), en abril de 1950 se demostró que la predicción numérica era factible. El sueño de Richardson se había convertido en una realidad. De ahí en adelante, la predicción meteorológica por métodos numéricos conoció un vigoroso desarrollo que no da muestras de flaqueza.

En 1953, año en que muere Richardson, aparece un trabajo de Charney y Phillips, aquél ya fallecido y éste testigo viviente que asistió al simposio, en el que se propone un modelo baroclino de tres capas (modelo de Princeton). Cuando se logró reproducir con ese modelo la tormenta del día de *Thanksgiving* de 1950, el servicio meteorológico estadounidense (*Weather Bureau* en ese entonces) lanzó una actividad de previsión numérica operacional. Aunque su explotación no produjo el mismo entusiasmo que el modelo barotrópico, al cual se volvió para la predicción operacional, los modelos baroclinos comenzaron a brotar, no solamente en los Estados Unidos, sino en Suecia, Inglaterra, Alemania y Japón. Se logra simular la ciclogénesis, y en 1956 N. Phillips incluye fuentes, logrando reproducir los grandes rasgos de la circulación general de la atmósfera, prefigurando así los posteriores modelos del clima.

La evolución es rápida: se crean modelos baroclinos con un número creciente de capas; se agregan tasas de calentamiento, parametrizaciones más complejas, se aumenta la resolución, se incorpora de manera racional cualquier cantidad disponible de datos (proceso conocido como *inicialización* o *asimilación*), se mejoran los esquemas numéricos (semi-implícito, semi-lagrangiano, espectral), se incluye un número cada vez creciente de procesos e intercambios con otros componentes del sistema total, etc. Hoy en día existe una gran variedad de modelos de pronóstico tanto del tiempo como del clima. No existe ningún modelo universal cuyo rendimiento sea aplaudido unánimemente; todos sufren de sesgos en el tiempo y espacio. Tengo para mí que lo ideal sería disponer de un modelo global, diseñado en algún centro de predicción avanzado, y que cada servicio meteorológico cree su propio modelo local o regional, y lo vaya perfeccionando a medida que aumenten los

recursos computacionales, dependiendo del modelo global solamente para los datos de frontera laterales.

De lo que el elenco de ilustres meteorólogos expuso, me permito presentar, con mayor brevedad que fidelidad, sólo algunas de las novedades que hicieron mella en mi memoria.

Los progresos realizados desde 1950 en materia de la predicción numérica del tiempo meteorológico no pueden menos que impresionarnos profundamente. Sobre los esfuerzos de estadounidenses, suecos, alemanes y rusos, en los albores de la aquella, hablaron los célebres meteorólogos N. Phillips, A. Wiin-Nielsen, H. Reiser (menos conocido) y G. Marchuk, respectivamente. Este último, pionero del método del *splitting* (descomposición de un operador), recordó las grandes contribuciones soviéticas al desarrollo de la meteorología dinámica, a la turbulencia atmosférica, y a los métodos numéricos en la predicción del tiempo. Con su método se construyeron algoritmos efectivos y estables. Además, con los métodos de los operadores adjuntos y la teoría de perturbación se pueden identificar zonas energéticamente activas, lo que permite asesorar a las entidades responsables en cuanto a las consecuencias de la contaminación en una zona u otra de un país.

L. Bengtsson, del Instituto Meteorológico Max-Planck de Hamburgo, esbozó la evolución de la predicción del tiempo a mediano plazo, para cuya realización operacional se creó en 1975 el centro correspondiente en Reading, financiado por países europeos. A fines del siglo XX, la variedad de modelos tanto del tiempo atmosférico como del clima, es realmente prodigiosa. Los problemas relacionados con la *modelación*<sup>4</sup> numérica son de una índole distinta de lo que solía ser el trabajo de un meteorólogo antes del advenimiento de las computadoras. Según Geleyn, portavoz de los laboratorios de investigación numérica en Francia, en la fase siguiente de la predicción numérica del tiempo, no se buscará tanto la construcción de nuevos modelos como la solución de los problemas de la asimilación de los valores de frontera, o sea, la descripción correcta y adecuada de las interfaces (por ejemplo, entre la atmósfera y el océano, entre un modelo global de malla burda y uno regional de malla más fina). Geleyn demostró la potencialidad de los actuales modelos regionales franceses, con los que aparentemente se pudo captar tanto la intensidad como la ubicación de una honda borrasca que azotó el norte de Francia y el sur de Alemania, en la Navidad de 1999, acarreado pérdidas de vida y daños materiales. Yo tuve la oportunidad de sentir su fuerza, y fui testigo de árboles desarraigados y edificios destechados. El servicio meteorológico alemán no había emitido ninguna advertencia, puesto que sus modelos no previeron la intensidad de la borrasca. El centro europeo de predicción a mediano plazo en Reading ni siquiera produjo una baja, pero, como lo demostró uno de los conferencistas, T. Poston, si se

<sup>4</sup> De las distintas palabras utilizadas para describir la actividad a que se refiere, modelaje, modelamiento, modelización (galicismo), creo que modelación es la menos displicente. Los diccionarios de la Real Academia Española y de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, no nos socorren en la selección.

perturba, *a posteriori*, el estado inicial correspondiente, en algunos casos aparece la borrasca, y en otros no. Su charla, una de las más estimulantes, versó sobre la predicción de la incertidumbre en los pronósticos numéricos del tiempo. Como no se conoce el estado inicial con exactitud, parece más natural definir una distribución de probabilidad inicial, y resolver una ecuación de Fokker-Planck, obteniendo así la distribución de los errores en un instante posterior. En la práctica, lo que se hace es utilizar un colectivo (o población) de integraciones numéricas, perturbando tanto las condiciones iniciales como la formulación del modelo (esto quiere decir que se perturba, por ejemplo, algún parámetro de las ecuaciones fundamentales del modelo, cuyo valor numérico no se conoce con exactitud). La predicción resultante de la distribución de errores se denomina predicción probabilista (o probabilística). Se han desarrollado muchas técnicas de perturbación, entre ellas la conocida como de los vectores singulares, que permiten determinar las componentes linealmente inestables de la función que define la densidad de probabilidad inicial, lo que a su vez permite simplificar el problema, ya que tales densidades están definidas en espacios de enormes dimensiones (¡10 millones!). Finalmente, las «predicciones colectivas» (ensemble forecasts) se utilizan como entradas en modelos sencillos de decisión, para determinar ciertos riesgos. Se dio un ejemplo. La borrasca de Navidad que ya mencionamos, aparece en algunos miembros del colectivo, y en otros no. Aprovechando toda la información de la distribución de probabilidad, se evaluó la probabilidad de la tempestad. En el caso de la borrasca, pongamos que era del 10%. Es decir, existía un 10% de probabilidad, o riesgo, de que iba a ocurrir. Para algunos usuarios, una información de este estilo puede ser vitalmente valiosa, dependiendo del posible impacto. Otros pensarán que la predicción de un temporal severo, con tan bajo riesgo de producirse, no tiene gran valor (lo he comprobado en algunas pláticas). Para ellos, T. Poston dio un ejemplo que me pareció contundente: si antes de un vuelo una compañía les comunica a los pasajeros que, tras un chequeo del avión, se descubrieron algunos defectos de poca monta, y que el riesgo de que el avión se caiga es sólo del 10%, está claro cuál será la reacción de cada pasajero, incluyendo la tripulación.

Poston demostró que la predicción probabilista del tiempo ofrece potencialmente un mayor valor económico que sendas predicciones deterministas (aun con barras de incertidumbre), especialmente en el caso de situaciones meteorológicas extremas.

Una conferencia sumamente interesante para quienes buscan mejorar las previsiones de fenómenos meteorológicos en el trópico, fue la de T. Krishnamurti, de la Universidad de Florida. Su conferencia sorprendió a más de uno, tanto por la novedad del enfoque como por los resultados mostrados. El título de su ponencia, «Predicción numérica del tiempo sobre el trópico» es de patente relevancia para nosotros. Trataré de resumir lo que logré entrever, ya que no entiendo, de su prometedor enfoque. La idea es utilizar no sólo un modelo, sino todos los modelos disponibles. Durante una fase llamada «de entrenamiento», se juzga la calidad de

cada modelo en cuanto a la predicción de algún parámetro de interés (por ejemplo, precipitación), de tal manera que se puedan definir unos «pesos», uno para cada modelo. Luego se crea un colectivo de series de tiempo tomadas del conjunto de modelos, los cuales conforman lo que Krishnamurti llama un *super-colectivo* (*superensemble* en inglés). Ahora, no estoy seguro si en la fase de predicción se toma la media de las series predichas por cada modelo, ponderadas según los pesos asignados durante la fase de entrenamiento, pero el hecho es que las trayectorias de los huracanes o las intensidades y ubicaciones de los sistemas pluviogénicos, y los monzones, calculadas según su método, concuerdan mucho mejor con los datos reales, con los cuales se comparó el rendimiento del «super-modelo» (creo que *a posteriori*). En las actas del congreso se encontrarán los detalles de tan interesante procedimiento, que podríamos calificar de ecléctico, en el mejor sentido de la palabra. Creo que valdría la pena considerar su empleo en nuestras latitudes. Claro está que, mientras no se encuentre un modelo confeccionado especialmente para el territorio de Colombia, en el colectivo de modelos utilizados, no se puede esperar que, por ejemplo, en el caso de la precipitación, los pronósticos sean de suficiente fiabilidad, por cuanto los pesos atribuidos a los modelos del colectivo, que no contienen la orografía colombiana con la resolución necesaria, no serán muy grandes.

A propósito de la resolución, se dijo en el congreso que de su aumento o perfeccionamiento se pueden esperar rápidos progresos en los próximos años, y A. Staniforth, de la oficina meteorológica del Reino Unido, presentó dos estrategias al respecto: por un lado, modelos con resolución uniforme, tanto a nivel global como regional, y por otro lado, modelos con una resolución global «reconfigurable», llamados también de resolución variable, que no presentan el grave inconveniente de ostentar una discontinuidad en la resolución. En su conferencia, una de las más lúcidas, también mencionó que en las ecuaciones dinámicas para el trópico, posiblemente no se debieran despreciar las aceleraciones de Coriolis proporcionales al coseno de la latitud. Citó un trabajo en el que se demuestra que la propagación de las ondas de Madden-Julian se ve afectada por esos términos. Invitó a la comunidad científica a aclarar este punto. Creo que podría ser una buena tarea para los meteorólogos colombianos el incluir y examinar el efecto de dichos términos.

De la predicción meteorológica a la predicción climatológica a corto plazo, he ahí el tema elegido por M. Latif, del Max-Planck de Hamburgo, y antiguo compañero de estudios mío. Sostiene que hay cierta evidencia de predecibilidad a escala estacional e incluso interanual; que la memoria de un sistema acoplado está en el océano, de modo que las medidas oceanográficas resultan indispensables en la inicialización del modelo acoplado. Adujo el fenómeno conocido bajo la sigla ENSO (la combinación de El Niño y la Oscilación Austral) como un ejemplo de predicción climática a corto plazo exitosa (el fenómeno es la más fuerte fluctuación climática interanual, con concomitantes anomalías climáticas en el mundo entero). Sus manifestaciones extremas pueden ser predichas con una anticipación de

6 a 12 meses, según nuestro conferencista. Hay evidencia, aseguraba éste, de que se puedan prever las fluctuaciones a escala de décadas, como las que están asociadas con la NAO (Oscilación del Atlántico Norte), con consecuencias o retroalimentaciones relacionadas con la termohalina, y con asomos de una periodicidad de 30 años.

Finalmente, la conferencia dictada por el hijo del célebre meteorólogo noruego, A. Eliassen, se ocupó, no de la predicción del tiempo, sino de cómo aprovecharla para la predicción del transporte de contaminantes. Hasta alrededor de 1970, los estudios sobre la contaminación del aire se limitaban a su transporte hasta una distancia de unos 50 kilómetros. La acidificación (o acidulación) de ríos y lagos escandinavos, finalmente atribuida a las emisiones sulfúricas y los combustibles fósiles de países como Inglaterra y Alemania occidental, impulsó el estudio del transporte de contaminantes a lugares lejanos (a miles de km). Los europeos se percataron, no sin asombro, de la dimensión internacional del problema. Los transportes tienen lugar tanto en la troposfera como en la capa límite, y la estimación de la concentración y

deposición de contaminantes es muy exigente, pues requiere el conocimiento de los estados atmosféricos consecutivos. Por consiguiente, qué más natural que utilizar los productos de la predicción numérica del tiempo. Realizó Eliassen que el factor más crítico en esa estimación es la calidad de los datos meteorológicos, y que la correcta o exacta descripción de la química en el modelo no es sino de importancia secundaria.

En noviembre de 1999 se firmó un acuerdo «multi-contaminación» y «multi-efectos» en Europa, para el cumplimiento del cual se utilizan los datos proporcionados por la predicción numérica de los campos meteorológicos, lo que permite cartografiar las fuentes de contaminación. Su informe sobre el papel de su instituto en esta clase de actividad constituye un tributo al tema principal del simposio.

En suma, el simposio representó para mí una experiencia memorable, pero desafortunadamente no fue tan concurrido como lo merecía, no sólo por la importancia del tema, que nos atañe a todos los meteorólogos, sino por el calibre de los conferencistas.