

LA CIRCULACION GENERAL DE LA ATMOSFERA

UNA VALORACION CRITICA REALIZADA POR EL PROFESOR E. N. LORENZ

por Rolando V. García

El problema de la circulación general de la atmósfera ha sido considerado como uno de los más importantes y difíciles que tiene planteados la Meteorología, siendo actualmente el tema central del «Global Atmospheric Research Programme» (GARP) (Programa para la investigación mundial de la atmósfera), sobre el cual la Organización Meteorológica Mundial y el Consejo internacional de Uniones científicas han acordado recientemente un plan de cooperación a largo plazo. Parece, pues, muy razonable que la O. M. M. haya elegido este tema para la primera Conferencia OMI, adjudicada en 1967 al profesor E. N. Lorenz. El texto completo de la monografía, de la cual la Conferencia OMI fue una versión abreviada, ha sido publicado con el título «The Nature and Theory of the General Circulation of the Atmosphere» (1). Esta publicación viene a confirmar que el profesor Lorenz es uno de los más brillantes y originales investigadores en el campo de la meteorología moderna; su monografía será sin duda, muy leída y apreciada tanto por los meteorólogos profesionales como por los estudiantes.

Desde que Rossby escribió su celebrada interpretación sobre *la circulación general de la atmósfera* bajo el título «*The Scientific Basis of Modern Meteorology*», publicada en 1941 en *Climate and Man* y reproducido en el *Handbook of Meteorology* han sido muchos los artículos que han intentado dar una visión general, puesta al día, del tema, a la luz de los últimos descubrimientos teóricos y experimentales. Ninguno de ellos tiene la profundidad y la amplitud de la monografía de Lorenz. Además, su presentación es única bajo otros muchos aspectos, que la convertirán en un texto clásico para los estudiantes de meteorología.

Consideraciones fundamentales

El capítulo primero, *el problema*, merece ser leído más de una vez por el estudiante. Es una discusión concisa y estimulante de problemas que pertenecen al campo de la metodología de la ciencia. El tema central se refiere al significado de la *explicación*. El profesor Lorenz establece normas muy severas para considerar que alguna explicación que se proponga sea admisible. Sin embargo defiende el valor de las explicaciones cualitativas, en forma tal que será un cambio refrescante para aquellos que procuran mantenerse al día con la literatura meteorológica y se encuentran tan frecuentemente con un abstruso aparato matemático como sustitutivo de un claro pensamiento físico, o con una vaga palabrería sobre problemas mal definidos, ofrecida como explicación de fenómenos atmosféricos complejos. *Una exigencia de rigor* —dice

(1) En la página 135 se dan detalles bibliográficos sobre esta nueva publicación de la O.M.M.

el profesor Lorenz— *no es una exigencia de símbolos y fórmulas matemáticas. Es perfectamente posible que un razonamiento puramente verbal sea matemáticamente riguroso. Pero advierte al lector que mientras que una falta de rigor puede conducir a resultados incorrectos, el rigor solo no garantiza la comprensión y acentúa el hecho de que puede ser más difícil de lograr una respuesta aceptable para una cuestión cualitativa que para una cuestión cuantitativa.* Estas consideraciones le llevan a establecer claramente sus propios objetivos al buscar una explicación de la circulación general de la atmósfera. *La respuesta más completa consistiría... en una solución cuantitativa rigurosa de las ecuaciones que gobiernan la circulación observada, junto con una explicación cualitativa y si es posible verbal, de las razones fundamentales por las cuales las principales características cualitativas tienen lugar.*

Algunos lectores, tal vez, se sentirán tentados a objetar que esta separación entre respuestas cuantitativas —las soluciones de las ecuaciones— y cualitativas —que el autor enlaza con la *comprensión física*— puede no ser siempre posible. Pueden tener la sensación de que para ciertos problemas los métodos de la física teórica son los únicos que pueden tener éxito, y que como dijo Batchelor *la matemática aplicada, o física teórica, es una ciencia por sí misma y no una versión diluída de la matemática pura, ni una forma superior de la física.*

Sin embargo, ni aún estos lectores podrán negar que el profesor Lorenz consigue llegar muy lejos en su intento de expresar en lenguaje llano (¡riguroso sin símbolos matemáticos!) la explicación de la circulación general de la atmósfera.

Para apreciar debidamente la monografía hay que tener presentes los límites que el autor se ha impuesto. Se establecen en la *Introducción*. El autor menciona algunas de las definiciones más corrientes de la circulación general de la atmósfera y, sin rechazarlas, enuncia el problema de tal manera que la mayor parte de los aspectos a los cuales hace referencia cualquiera de las definiciones propuestas aparecen, directa o indirectamente, involucrados en la solución. Así señala que *una parte importante de la discusión se refiere a la naturaleza y causa de los campos de movimiento, temperatura y humedad promediados con relación a la longitud geográfica y al tiempo.* Sin embargo existen tres importantes restricciones: limita su atención a la troposfera y baja estratosfera; no se refiere a las fluctuaciones de la circulación general, ni entra en detalles con respecto a la radiación.

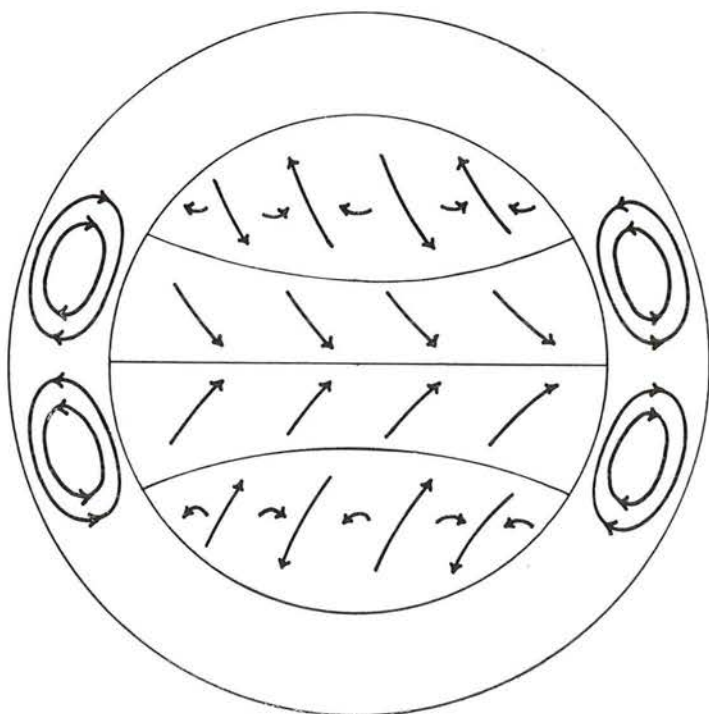
Ecuaciones de movimiento

En el capítulo II, *Las ecuaciones dinámicas*, el autor introduce el sistema de ecuaciones usado comúnmente en meteorología dinámica, y discute la ecuación hidrostática, las ecuaciones primitivas y la ecuación geostrófica. En la sección sobre la ecuación geostrófica discute, sin nombrarla, la llamada aproximación quasi-solenoidal. Son particularmente útiles sus observaciones sobre la compatibilidad desde el punto de vista de los principios relativos al momento angular y a la energía. Con respecto al uso del plano β su advertencia sobre la restricción a las latitudes medias y altas puede perder importancia en vista de los resultados obtenidos por Lindzen, quien ha conseguido soluciones aproximadas sobre una esfera usando dos planos β , uno centrado en las latitudes medias y otro en el ecuador.

Después de una exposición muy completa y crítica sobre nuestros actuales conocimientos referentes a *La circulación observada* (Capítulo III), el autor emprende la explicación de dos de los más importantes aspectos del problema: *Los procesos que mantienen la circulación* (Capítulo IV) y *La energética de la atmósfera* (Capítulo V).

Desarrollo histórico

El examen de las *Primeras teorías de la circulación general*, en el Capítulo IV, contiene otro aspecto del libro muy digno de atención para el estudiante. Tal vez no se encuentre otro capítulo tan educativo —y no meramente

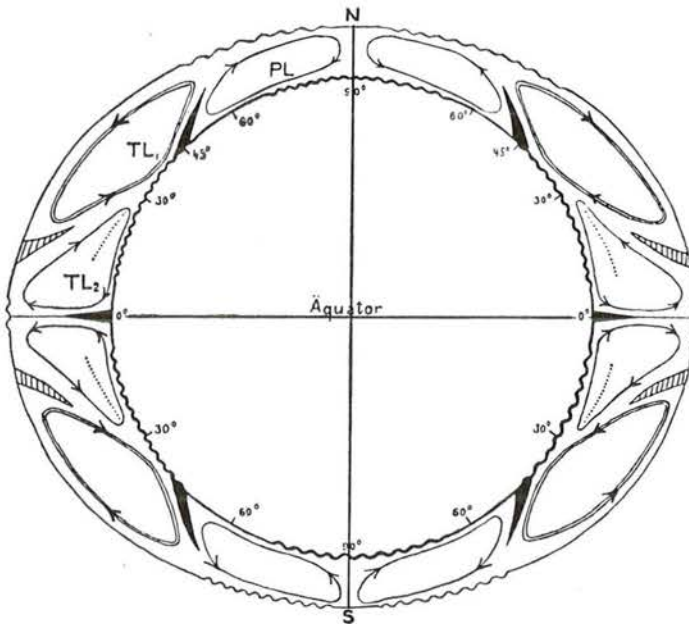


Una representación esquemática de la circulación general de la atmósfera, tal y como la concibió Dove (1837).

informativo— como éste. Presentar claramente las ideas fundamentales de un autor y mostrar de qué manera se han podido mantener o no frente a nuevos resultados teóricos o experimentales, enseña más que una exposición acicalada y teóricamente irreprochable, sin referencia al contexto histórico. El profesor Lorenz hace esto con estilo muy conciso y magistral. Al hacerlo exhuma ciertas teorías olvidadas o abandonadas, presentándolas bajo una nueva luz y señalando determinados aspectos de las mismas que han sido frecuentemente mal entendidos o subestimados. En este aspecto hace justicia no sólo a nombres casi desconocidos por los meteorólogos modernos, tales como Dove y Maury, sino también a otros que se suponen bien conocidos como Exner o Rossby.

El ciclo de la energía

En el Capítulo V se encuentra, quizá mejor que en cualquier otro, la huella de las aportaciones personales del profesor Lorenz al problema. Llega a un esquema del ciclo de la energía en la atmósfera, que probablemente muchos autores gustarían de llamar *ciclo de Lorenz*. Otra vez consigue, aquí, proponer explicaciones claras y sencillas para fenómenos más bien complejos. Tal vez por esto el lector puede lamentar que algunas de estas explicaciones parezcan



Una representación esquemática de la circulación meridiana, según Bergeron (1928).

demasiado breves. Por ejemplo, en la conversión de la energía cinética turbulenta en energía cinética zonal, el autor se refiere al hecho de que tratando el intercambio turbulento de energía cinética como un fenómeno de rozamiento turbulento, el coeficiente de viscosidad turbulenta se hace negativo para los movimientos en gran escala. Considera este fenómeno como *uno de los descubrimientos meteorológicos más inesperados y quizá más importantes*. Pero se limita a considerar los datos experimentales que corroboran este hecho, sin aportar ninguna explicación teórica, que podría aclarar las ideas del lector para quien el tema resulte nuevo. A este respecto habría sido útil una breve referencia al llamado teorema de la cascada para flujo bidimensional, proporcionando un sencillo modelo donde los cambios en la distribución espectral de la energía cinética son completamente distintos de los predichos por la teoría de la turbulencia.

Experimento con el tanque giratorio

El Capítulo VI, *Modelos de la atmósfera en el laboratorio*, pone orden en un asunto que ha concentrado la atención de los investigadores durante los últimos quince años. La mayor parte de los trabajos aparecidos se reducen bien a una reseña puramente descriptiva de los tipos de flujo obtenidos en función del número térmico de Rossby y del número de Taylor, o bien a ensayos teóricos, apelando a un pesado arsenal matemático. Los trabajos del propio profesor Lorenz son, tal vez, la única excepción. En este Capítulo el autor hace observar que la discusión *debe considerarse como fundamentalmente descriptiva, más bien que realmente explicativa*. Sin embargo, ofrece un análisis muy luminoso de las varias posibilidades de existencia de una solución de las ecuaciones matemáticas, que podrían proporcionar una descripción del flujo observado en determinadas condiciones. Hay una nota de optimismo cuando indica que el proceso físico correspondiente podría ser más bien sencillo, como ya lo había insinuado en su trabajo de 1962. Pero hay también una advertencia relativa a la evidencia experimental de que un fluido en rotación forzada térmicamente, puede ser *intransitivo*, desde el punto de vista de la teoría ergódica, lo cual sugiere que *no se pisa terreno firme suponiendo que la atmósfera sea transitiva*. Este hecho, si se confirmase, tendría profundas consecuencias, como ha sido ya discutido por el autor, tal vez demasiado brevemente, en el Capítulo primero. Por el lado positivo es importante consignar sus observaciones según las cuales considera que los experimentos de laboratorio son de máxima importancia para la teoría de la atmósfera en el sentido de que conducen a una *separación entre las consideraciones esenciales y las de menor importancia*. Se dan dos ejemplos muy claros: la evidencia de que, fuera de la región tropical, la condensación del vapor de agua no juega un papel esencial en el desarrollo de los sistemas atmosféricos y que el efecto- β juega un papel menor del que se pensaba.

Métodos numéricos

En el Capítulo VII sobre la *Simulación numérica de la atmósfera*, los cinco primeros párrafos están dedicados a puntualizar el valor metodológico de los experimentos numéricos. Esto es muy oportuno en vista de una cierta tendencia a reducir, hoy día, la meteorología dinámica al estudio de modelos numéricos. El profesor Lorenz se pregunta qué se habría ganado, aparte la satisfacción de haber realizado un trabajo difícil, si se consiguiese reproducir con todo detalle la circulación general de la atmósfera. Si bien a esta cuestión una respuesta perfectamente definida, pone un justo énfasis en el hecho de que el éxito no mejoraría necesariamente nuestra comprensión física.

Estudios teóricos

El Capítulo VIII se refiere a *Investigaciones teóricas*. Esta es la única parte del libro donde echamos de menos unas pocas ecuaciones que servirían para esclarecer algunos problemas. Por otra parte, dado el tono general del libro y el esfuerzo del profesor Lorenz para servirse del razonamiento cualitativo

mientras sea posible, es raro que no haga mención del trabajo del profesor J. Holmboe, quien quizá más que nadie ha aplicado el análisis cualitativo riguroso al estudio de sistemas hidrodinámicos complejos sobre los cuales ha suministrado la *comprensión física*, que el profesor Lorenz invoca continuamente en su libro.

El método de Holmboe de las *ondas simétricas*, como alternativa del método de los *modos normales*, ha aportado la explicación física más clara sobre el comportamiento y los mecanismos de inestabilidad de las ondas de Helmholtz, Kelvin y Rayleigh, así como sobre el mecanismo del crecimiento de las ondas frontales incipientes.

En el último Capítulo, *Los problemas pendientes*, el autor esboza una *explicación cualitativa de algunas de las características más importantes de la circulación, tan completa como, a nuestro parecer, puede ser hoy formulada*. Indica también *los campos donde aún no se han ofrecido explicaciones cualitativas satisfactorias*. El lector puede tener, a veces, la impresión de que la línea de separación entre aquellos fenómenos a los cuales el profesor Lorenz aplica lo que llama *una explicación bastante aceptable* y aquellos para los que *no tenemos por ahora ninguna explicación cualitativa bastante aceptable*, parece demasiado subjetiva. Lo mismo puede decirse del criterio de aceptar explicaciones *que aun cuando no sean rigurosas, son esencialmente correctas*. Sin embargo, esta presentación del tema quedará como material típico de referencia para cualquiera que en el futuro intente entrar en el juego de componer las innumerables piezas que son necesarias para construir una teoría coherente de la circulación general.

Desde el punto de vista editorial, la presentación del libro es excelente y las erratas de imprenta mínimas.

La O. M. M. rendrá un gran servicio publicando el libro en otros idiomas. Sería necesario, en todo caso, que la versión fuese muy fiel. A este respecto cabe señalar que la versión española del *Resumen* contiene un par de párrafos, donde es importante usar una terminología matemática precisa, realmente ininteligibles.

METEOROLOGIA AERONAUTICA

CONFERENCIA CIENTIFICA Y TECNICA, LONDRES, MARZO DE 1968

Aunque los progresos realizados, durante los últimos años, en la construcción de aviones y de ayudas para la navegación, pudo despertar la esperanza de que los aviones modernos podrían librarse en gran parte de los caprichos y exigencias del tiempo, lo cierto es que la seguridad y el rendimiento de los vuelos son realmente muy afectados por los parámetros y condiciones atmosféricas, sobre todo durante los aterrizajes y despegues. Los requisitos fundamentales para un servicio meteorológico eficaz para la aviación no han cambiado fundamentalmente en los últimos años, pero el crecimiento en las velocidades de vuelo, en el tamaño de los aparatos y en las alturas de operación han introducido apremiantes problemas meteorológicos que piden solución tanto en la