

# Libros



## Prisma. Un paseo entre las matemáticas y la realidad

Coordinadores: Rafael Villa Caro, Antonio Aranda Plata, Inmaculada Gayte Delgado, Juan M. Muñoz Pichardo, Juan Núñez Valdés, Antonio Pérez Jiménez, y Ramón Piedra Sánchez. Colección de divulgación Científica. Universidad de Sevilla. Vicerrectorado de Investigación. 24 Euros. 284 páginas.

ESTA obra ha sido galardonada con el premio Universidad de Sevilla a la Divulgación Científica 2008/2009 por decisión unánime del Jurado. Como se ilustra en la contraportada, este libro ha sido posible porque a principios de 2004 nace el Grupo de Divulgación de la Facultad de Matemáticas de la Universidad de Sevilla, formado por un buen número de profesores de la misma, con el objetivo de divulgar las matemáticas y hacerlas más atractivas e interesantes a los alumnos de Secundaria y Bachillerato. Entre otras actividades, se imparten charlas en las que se recalca algún aspecto de las matemáticas de utilidad en la vida real. Ante la cantidad de charlas divulgativas que se habían producido, surgió la idea de recogerlas en un libro, para que llegasen a un público más amplio. Se concluye bellamente que en el ánimo de los profesores participantes en el proyecto está en llegar, con claridad y sencillez, al mayor número posible de lectores, y conseguir de ese modo que disfruten de las matemáticas.

Es un libro magníficamente editado donde no se han regateado imágenes en color, mapas, fotografías, recuadros coloreados para los resúmenes, etc., aspectos que contribuyen poderosamente a resaltar el atractivo del texto. Contiene igualmente una amplia y cuidadosa lista de referencias, que facilitan al lector interesado, profundizar en aquellos aspectos que más le preocupen.

El índice se compone de prólogo y 14 capítulos con títulos tan sugestivos y variados como: 1. Matemáticas, una ciencia viva; 2. El número de oro; 3. Los puentes de Königsberg; 4. Enlosados y pavimentaciones; 5. La magia del álgebra; 6. Caminando sobre las curvas; 7. Gauss: el método de mínimos cuadrados; 8. Arte, perspectiva y geometría. El amanecer de la geometría proyectiva; 9. El ábaco probabilístico; 10. Números primos y mensajes ocultos: criptografía; 11. Una forma de obtener muestras en la naturaleza: muestreo adaptativo; 12. Vibraciones de puentes. Matemáticas para entender y evitar desastres; 13.

Dinámica de poblaciones, un ejemplo vivo y en evolución del uso de las matemáticas; y 14. La solidaridad en la vida de algunos matemáticos. En contra de la costumbre habitual, los autores figuran al final de los capítulos.

El prólogo se detiene en los aspectos esbozados en la contraportada. Los autores plantean la dificultad de divulgar las Matemáticas con el grado de completitud deseado. El Grupo de Divulgación persigue mostrar la parte más real y cotidiana de las Matemáticas, contribuyendo así a destruir en gran medida la idea de ciencia abstracta y lejana que suele tener el público en general.

Un aspecto muy interesante está en el hecho de que poco a poco ha ido calando la idea de que la divulgación de las Matemáticas, en particular, y de la

Ciencia, en general, es un compromiso obligado con la sociedad. El libro está dirigido no solo a alumnos de Secundaria, sino a un público más amplio e interesado en mejorar su conocimiento de esta ciencia, consciente de su importancia en la gran mayoría de los recursos actuales y de su influencia en el diseño de la sociedad futura.

Resulta innegable el exquisito cuidado prestado a la redacción de todos los capítulos para que puedan ser seguidos y entendidos sin demasiada dificultad por un lector casi sin conocimientos previos de Matemáticas. Como se indica expresamente, en aquellos casos en los que los autores han sentido la necesidad de explicar con mayor profundidad algunos de los aspectos que se plantean, se han añadido apéndices separados claramente del grueso del capítulo, mediante diagramas con colores diferentes, de modo que se garantiza siempre una primera lectura en la que dichas notas no son necesarias para la comprensión global del capítulo.

Queda patente la elección tan ajustada del título, 'un paseo entre las matemáticas y la realidad'; porque realmente esta lectura es un deambular, donde nos vamos a encontrar absorbidos por la sorpresa y la belleza de la exposi-



ción. Aunque es difícil decidirse dado el excelente nivel, me detendré en el análisis de algunos capítulos, empezando por el Cap. 1, porque deja entrever el hilo conductor, y como poco a poco, uno queda atrapado en el hechizo y es consciente del papel tan extraordinario, como olvidado, del disfrute en el aprendizaje, especialmente de las ciencias abstractas.

El capítulo 1, matemáticas: una ciencia viva, corre a cargo de Inmaculada Gayte Delgado del Dpto. de Ecuaciones Diferenciales y Análisis Numérico de la U. de Sevilla. Comienza el capítulo con el discurso pronunciado por David Hilbert en el 2º Congreso Internacional de Matemáticas celebrado en París en 1900. Sostenía que una teoría matemática no debe ser considerada completa hasta que sea tan clara de entender que pueda ser explicada al primer hombre que pase por la calle. Esta claridad insistía Hilbert, se la tendría que exigir con mayor razón a un problema matemático perfecto; 'porque lo que es claro y fácil de comprender nos atrae, lo complicado nos repele. Una rama de la ciencia seguirá viva mientras siga ofreciendo problemas en abundancia'. Se enlaza con los problemas desde Fermat hasta Wiles, narrando hechos de matemáticos como Euler, Sophie Germain, Wiles entre otros. Solamente por la plasticidad de las descripciones, merece la pena detenerse en el capítulo. Se concluirá con los siete problemas del milenio y algunas anécdotas como la de Perelman. Me han parecido especialmente interesantes las disquisiciones acerca de lo que es un problema importante. Como se dice textualmente 'Un problema importante puede ser aquél que intenta dar respuesta a una pregunta real, es decir, que viene motivado desde un problema de la realidad, de origen físico, biológico, químico, social, de la ingeniería. Por ejemplo, determinar la curva que debe seguir una partícula situada en A para llegar hasta un punto más bajo B en el mínimo tiempo posible. Se conoce como problema de la braquistócrona y fue resuelto por Johann Bernoulli en el siglo XVII.' Ahora bien, un problema importante es aquél que, tal vez, desde la abstracción, es capaz de clarificar y posiblemente solucionar una gran cantidad de problemas adicionales. Desde este punto de vista, la conjetura de Riemann fue incluida por Hilbert en 1900 como un problema importante y hoy en día es uno de los 7 problemas del milenio'

Por último, la anécdota de Perelman que probablemente recordemos de la prensa, alude a la concesión de la medalla Fields por su contribución a la resolución de la conjetura de Poincaré en el congreso de Matemáticas celebrado en Madrid en 2006. No sólo no acudió a recoger el premio sino que lo rechazó. Sus palabras fueron: 'Desde el principio le dije que lo rechazaba. Es completamente irrelevante para mí. Cualquiera puede entender que si la prueba es correcta no se necesita ningún otro reconocimiento'.

El capítulo 2 va a encantar con toda seguridad a los amantes de la historia del arte. Como plantea Antonio Aranda Plata, autor del capítulo, la búsqueda del ideal de

belleza y de la armonía ha sido una constante en la vida de pintores, arquitectos, músicos, etc. Se va a centrar en el concepto de la proporción áurea, que en algún momento pasó a llamarse divina proporción. En este capítulo, quizás con más intensidad que ninguno, se es consciente de que la Matemática forma parte del patrimonio cultural de la Humanidad, que ha estado detrás de sus grandes creaciones y constituye uno de los hilos conductores de la historia de las ideas y del pensamiento humano. El conocimiento de sus contenidos y de sus métodos constituye un capítulo importante de la formación cultural y académica de una sociedad moderna.

Realmente interesante el paseo a lo largo de la historia, desde la cultura egipcia, con el bajorrelieve de la Tumba de Petosiris llegando a la obra de Salvador Dalí, ejemplo clásico del uso de la Geometría en la Pintura. Me ha sorprendido muy gratamente la inclusión de un ejemplo de la presencia de la sección áurea en la Música, como es el compositor Béla Bartok. Tanto la proporción áurea como la sucesión de Fibonacci son usadas como patrón para determinar ciertos elementos de las composiciones. Se concluye a modo de epílogo, con unas palabras de Johannes Kepler: "La geometría posee dos grandes tesoros: uno es el teorema de Pitágoras; el otro la división de una línea en media y extrema razón. El primero puede compararse al oro, el segundo a una joya".

El último capítulo, solidaridad en la vida de algunos de los matemáticos está firmado por Inmaculada Gayte Delgado, cerrándose el círculo abierto en el primer capítulo, no existiendo mejor broche. En el transcurso de la lectura del libro, nos hemos ido sumergiendo en las cuestiones matemáticas, pero todavía podríamos correr el riesgo de considerar a los matemáticos, quizás mucho más que a otros científicos como sabios encerrados en su torre de marfil, ajenos a todo lo que no fuese su trabajo. Como se subraya en el recuadro introductorio del capítulo, las teorías y resultados han sido hechos por personas. Se recurre a tres ejemplos: Bernard Bolzano (1781-1845), Florence Nightingale (1820-1910) y Srivanasa Ramanujan (1887-1920) porque todos han aportado trabajos en distintos campos de la Matemática, pero al mismo tiempo, han dado o recibido solidaridad.

Bolzano era un sacerdote católico nacido en Praga, que además de lógico, filósofo y teólogo, realizó importantes contribuciones no sólo en Matemáticas sino en la Teoría del Conocimiento. En sus enseñanzas, se plasmaban claramente sus ideas pacifistas y de justicia política. Su principal trabajo "Paradojas del Conocimiento" fue publicado dos años después de su muerte. Su teoría de funciones permaneció extraviada hasta 1930 en el que se encontró el manuscrito.

Florence Nightingale es recordada fundamentalmente por su papel como enfermera en la Guerra de Crimea y por su importante contribución a la reforma de las condiciones sanitarias en los hospitales militares de campaña.

Pero lo que muchos ignorarán es que quiso estudiar Matemáticas, y tras luchar denodadamente con la oposición de sus padres, consiguió finalmente que accedieran a su petición, contando entre sus tutores con dos célebres matemáticos. Mientras estuvo en Turquía, recogió datos y sin ningún género de dudas, sin su formación matemática hubiera pasado por alto la increíble tasa de muertes producidas y no habría buscado las causas de la misma. Apreciaba en gran manera una frase de Goethe "El mundo está gobernado por los números, porque son ellos los que nos denuncian si está bien o mal gobernado". Fue una innovadora en la recogida, presentación en tablas, interpretación y presentación gráfica de las estadísticas descriptivas -creó un diagrama de área polar-. Su trabajo con la estadística médica fue tan relevante que llegó a ser elegida como miembro de la Sociedad Estadística de Inglaterra (1858) siendo la primera mujer en entrar en dicha institución, convirtiéndose posteriormente en miembro de la *American Statistical Association*.

El capítulo concluye con Srinavasa Ramunajan, cuyo apelativo era 'el hombre que conocía el infinito'. Fue una de las mentes más prodigiosas de las matemáticas, siendo su formación claramente autodidacta. Es enternecedora la

relación que establece con Hardy. Como se indica, Hardy debía enseñarle la matemática general pero al mismo tiempo sin dañar su originalidad. La *Royal Society* le nombró miembro y el *Trinity College* le nombró colegial, siendo el primer indio en alcanzar tales distinciones. Este capítulo justificaría por sí mismo, la lectura del libro. Es impresionante el relato de la historia del taxi que cuenta Hardy que acude a verle al hospital donde estaba internado. Relata Hardy: 'El taxi que me ha traído tenía un número bastante soso, el 1729'. Ramanujan se apresuró a responderle: 'No, Hardy es un número muy interesante. Es el más pequeño de los números que se pueden expresar como la suma de dos cubos de dos maneras distintas  $1729 = 9^3 + 10^3 = 1^3 + 12^3$ '.

Es un libro que no necesita recomendación, tan sólo la lentitud suficiente para dejarse absorber porque de su lectura surgirán conexiones insospechadas. Estoy segura de que muchos de los lectores cambiarán su percepción de muchos de los matemáticos, sintiéndoles mucho más cercanos y de que al visitar las pinacotecas, se acordarán de la proporción áurea.

M<sup>a</sup> Asunción Pastor Saavedra

### Weather by the Numbers. The genesis of modern meteorology.

Kristine C. Harper The MIT Press, 2008, 308 pp.

Para leer este libro no es necesario ser un especialista en predicción numérica, pues aunque utiliza conceptos de la meteorología del siglo XX, tiene un estilo más bien divulgativo. Pero sin duda resultará muy interesante para una persona que se dedique a la meteorología, o tenga interés en ella o en su historia reciente.

En las 239 páginas del texto (el resto son notas, bibliografía e índices) se cuenta la historia del comienzo de la predicción numérica del tiempo en Estados Unidos mediante el uso de los primeros ordenadores en las décadas centrales del siglo XX. Aunque no únicamente, se centra sobre todo en el *Meteorology Project* patrocinado por el gobierno de ese país, que empezó en 1946 con la idea de utilizar el ordenador de von Neumann para predecir el tiempo, e incluso para controlarlo. Se trata por tanto de un relato histórico del progreso meteorológico realizado desde una perspectiva americana, pero que resulta muy interesante también para un lector del continente europeo. En particular, se puede apreciar cómo el problema de la separación entre la meteorología operativa y la investigación de la ciencia atmosférica esta-

ba ya presente en ese país durante las primeras décadas del siglo XX. A medida que se avanza en la lectura del libro, queda patente la importancia del contacto de los meteorólogos americanos con los escandinavos, y el cambio de mentalidad que esto supuso en los meteorólogos después de la Segunda Guerra Mundial. Este contacto ayudó a disminuir el salto entre la meteorología teórica y la operativa en Estados Unidos, ya que los escandinavos, además de dedicarse a la meteorología operativa, al mismo tiempo realizaban una investigación teórica de alto nivel.



Según la autora, durante gran parte de la primera mitad del siglo XX, la predicción meteorológica fue más un arte que una ciencia y dependía sobre todo de la experiencia local que tuviera el predictor.

Después de la Segunda Guerra Mundial la combinación del aumento de la red de observación desarrollada para propósitos militares y el nacimiento de los ordenadores digitales contribuyó a formar una nueva manera de comprender el comportamiento de la atmósfera y de avanzar en las técnicas de predicción del tiempo, y atrajo a nuevos y jóvenes meteorólogos con buena forma-

ción en matemáticas y física. Todos ellos fueron guiados por las importantísimas contribuciones del meteorólogo estadounidense de origen sueco Carl-Gustav Rossby, fundador del programa de Meteorología del MIT y miembro de la llamada Escuela de Escandinavia, que trabajó con von Neumann. En este contexto se detalla ampliamente la relevancia que tuvo Rossby en la organización de la meteorología americana, tanto en la gestión de proyectos de investigación como en la mejora de la predicción diaria realizada por los servicios públicos.

Aunque el libro está dividido en capítulos cronológicos que comprenden casi todo el siglo XX, se centra especialmente en los años que van desde 1930 hasta finales de los cincuenta. En los dos primeros capítulos se relata el estancamiento en que se encontraban los servicios meteorológicos hasta el comienzo de la Segunda Guerra Mundial. En este tiempo, en Estados Unidos la meteorología estaba muy ligada a la geografía y a la mejora de la agricultura, y tenía un enfoque más bien descriptivo o empírico. Esto se debió a que la Oficina de Meteorología (*Weather Bureau*) estaba bajo el mando del Departamento de Agricultura, cuya misión principal fueron las predicciones para la agricultura. Aunque durante la Primera Guerra Mundial se invirtió en meteorología aeronáutica, en el período de entreguerras se hizo poco por progresar en este sentido, en contraste con lo que tuvo lugar en algunos países de Europa. Así, la meteorología en Estados Unidos se estancó.

En estos dos capítulos también se detallan las funciones y la estructura de la Oficina de Meteorología americana, así como el tipo de servicio que realizaba y el personal perteneciente a ella. Se pone mucho énfasis en que este personal no estaba a veces adecuadamente formado y que el tipo de servicio pocas veces incluía una investigación teórica de aspectos meteorológicos. Aunque hubo intentos por utilizar métodos más científicos para la predicción, como la introducción del análisis de las masas de aire y del frente polar –de la Escuela de Bergen–, los años de la Gran Depresión económica impidieron ese desarrollo. Un papel importante en ese intento lo tuvo, junto con Rossby, Francis Wilton Reichelderfer, que estuvo en la Marina y después fue Jefe de la Oficina de Meteorología. Un hecho también relevante es el comienzo en 1919 de la *American Meteorological Society* (AMS) con la idea de ser cauce para la formación y la investigación en meteorología. Esta asociación publicaría periódicamente en el *Bulletin of the American Meteorological Society* temas no publicados en la *Monthly Weather Review*, de la Oficina de Meteorología.

El capítulo tres está dedicado al crecimiento de la meteorología en los años de la Segunda Guerra Mundial. En este período, la formación de miles de nuevos meteorólogos fue un acontecimiento extraordinario en la historia de la ciencia en Estados Unidos, que cambiaría sustancialmente la comunidad meteorológica. En el año 1939 aparece en escena Jacob Bjerknæs, hijo de Vilhelm Bjerknæs que

fue el fundador de la Escuela de Bergen. Jacob estaba en Estados Unidos cuando tuvo lugar la invasión de Noruega por Alemania. Aprovechando la ocasión Rossby le convenció para que fuera el jefe del nuevo programa de meteorología en el departamento de física de la UCLA. Poco después, en 1940, en la Universidad de Chicago también comenzó un programa en meteorología. Así, en este año había cinco grandes centros de formación de meteorólogos: Universidad de California (UCLA), la Universidad de Chicago, Caltech, MIT y La Universidad de Nueva York (NYU). Salvo Caltech, los programas estaban centrados en la teoría del frente polar y tenían gente proveniente de la Escuela de Bergen. Estos cinco centros fueron claves durante la guerra. En los años de la guerra el objetivo prioritario para la información meteorológica era la confección de mapas de predicciones en altura para la aviación, para lo cual se necesitaba una mejor comprensión teórica de la circulación general de la atmósfera, y desarrollar las técnicas de predicción para cinco días o más en áreas estratégicas. Estos desarrollos serían llevados a cabo por los cinco centros de meteorología indicados y estarían en conexión directa con las necesidades de la guerra. Además, aumentó la importancia de los estudios climatológicos de lugares relevantes para operaciones militares –como Europa–, y los estudios de meteorología tropical para las áreas del Pacífico. En esta época Rossby, como presidente de la AMS fichó a Henry G. Houghton para hacer esta sociedad científica más profesional y fundó la *Journal of Meteorology*.

A finales de la Segunda Guerra Mundial la comunidad meteorológica de Estados Unidos se había transformado completamente. La aviación militar había provocado este cambio y ahora se contaba con una red de datos muy amplia que serviría para que los estudios avanzaran. Además, había bastantes más meteorólogos bien formados (de 400 meteorólogos antes de la guerra se pasó a 6000 después), que hacían una meteorología con rigor matemático basada en leyes físicas.

La historia de la meteorología en Estados Unidos entre los años 1944 y 1948 está relatada en el capítulo cuatro. Los pasos dados durante la guerra para mejorar en la predicción del tiempo, mediante la ampliación de la red de observación de superficie y el incremento del número de observaciones a niveles altos de la atmósfera, iban a ser ahora aprovechados para avanzar en la comprensión teórica de la atmósfera utilizando el primer ordenador electrónico digital de John von Neumann, formándose el *Meteorology Project* de Princeton. Los precedentes de esta idea estaban ya en las investigaciones de Lewis Fry Richardson, que había intentado en 1922 resolver las ecuaciones de la atmósfera por procedimientos numéricos a mano. Para algunos también estaba presente no sólo la predicción sino la posibilidad de controlar los fenómenos de tiempo severo. Julie Charney, experto en el desarrollo de soluciones de las ecuaciones hidrodinámicas, quiso unirse al proyecto junto con Eliassen, que era de la Escuela



Escandinava y dominaba la meteorología sinóptica. Desde entonces Charney tuvo un papel absolutamente fundamental en la modelización numérica de las ecuaciones que rigen los procesos atmosféricos.

En el capítulo cinco se cuenta más en detalle la cooperación americano escandinava en el *Meteorology Project* de Princeton y cómo se logró modelizar las ecuaciones básicas de la atmósfera para utilizarlas en los métodos numéricos. En esta época se empiezan a ver las ventajas de utilizar modelos barotrópicos con sus limitaciones y se emprende el estudio de los modelos baroclínicos. Charney, con von Neumann desde Estados Unidos, y Rossby desde Suecia, trabajaron juntos con sus respectivos grupos para avanzar con determinación en las técnicas de predicción numérica y en las aplicaciones prácticas para la predicción. En 1950 se utiliza el ordenador ENIAC, inicialmente pensado para aplicaciones de balística. Fue el primer intento de predicción del tiempo por métodos numéricos y duró más de un mes. Aunque se obtuvieron muchos errores de computación, fue considerado un éxito porque se consiguieron algunas predicciones acertadas en los mapas de superficie y se probó la utilidad del modelo barotrópico.

Una vez que se tiene el modelo barotrópico, es momento de aumentar su complejidad para hacerlo más cercano a la realidad física. Durante los siguientes dos años, de 1950 a 1952, se introducen nuevas técnicas y variables, se realizan pruebas, se comparan las salidas del modelo con un mapa de análisis y se verifica el modelo. Esto es lo que se narra en el capítulo seis. Se trata de ver si las salidas del modelo ejecutado en el ordenador son realistas. Para lograr esta verificación también Rossby formó un grupo de trabajo de predicción numérica en Estocolmo con personal de varios países, aunque especialmente de Suecia y Estados Unidos. En marzo de 1952 se lograba tener a punto en el *Meteorology Project* de Princeton un ordenador mejor preparado para ejecutar en él los modelos numéricos barotrópicos perfeccionados, e incluso uno baroclínico simple. Por entonces surgen también en otros países europeos proyectos de predicción numérica interesados en incluir modelos tridimensionales, como en Alemania o Gran Bretaña. A partir de ahora, a medida que las técnicas matemáticas y la potencia de cálculo de los ordenadores mejoren, las predicciones también lo harán.

En el penúltimo capítulo se detalla cómo desde 1952 hasta 1955 se redoblan los esfuerzos por lograr un modelo numérico operacional, que sirva para la predicción diaria realizada para distintos usuarios, y no sólo a nivel experimental o teórico. Se trata de poner ya en marcha una meteorología operativa que pueda utilizar las salidas de los modelos numéricos. Tanto los miembros del *Meteorology Project* como el grupo de Estocolmo de Rossby estaban detrás de este intento por conseguir predicciones realistas. Para ello estos grupos se centraron en las predicciones a corto plazo y en profundizar en el conocimiento de la circulación general de la atmósfera, para lo que necesitaron

más expertos en meteorología sinóptica, que una vez más provenían de los países nórdicos. Para que la predicción fuera más realista se necesitaban en particular unos modelos más sofisticados para la predicción de la nubosidad y de la precipitación. En 1953, con un buen equipo de personal del *Meteorology Project* se dio un considerable empuje a estas ambiciones. Además, la Oficina de Meteorología fundó entonces una unidad de predicción numérica operativa, a la que enseguida se unieron la Marina y la Fuerza Aérea de Estados Unidos formando la *Joint Numerical Weather Prediction Unit* en 1954. En 1955 estos tres servicios meteorológicos trabajando conjuntamente obtuvieron los primeros mapas de predicciones operativas utilizando un ordenador IBM 701.

Mientras tanto, varios países europeos también estaban dando los pasos adecuados para hacer predicción numérica operativa: además del grupo de Estocolmo en Suecia, la Oficina Meteorológica Británica (*British Meteorological Office*) y el Servicio Meteorológico Alemán (*Deutscher Wetterdienst*).

Como se relata en el último capítulo, en las décadas siguientes todos los servicios meteorológicos incrementaron rápidamente la potencia de cálculo de los ordenadores y los productos generados, mejorando sustancialmente los modelos de predicción que incorporaban más variables y tenían en cuenta más aspectos (océanos, topografía, etc). También surgieron más centros de predicción numérica mediante la colaboración de varios países, como el *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* en el Reino Unido en los años setenta. En los años sesenta Charney consiguió que empezara el Programa de Investigación de la Atmósfera Global (GARP) para tener accesible una red mundial de datos meteorológicos de todo tipo y facilitar la cooperación internacional. Poco después comenzaron a obtenerse a través de los satélites también datos de zonas del planeta asiladas.

Como conclusión, la autora resalta el papel fundamental que ha tenido la predicción numérica para conferir a la meteorología en Estados Unidos un carácter más profesional y científico. A su vez, los pilares que hicieron posible la predicción numérica fueron los ordenadores electrónico digitales, los estudios de la meteorología de larga escala y la amplitud de datos de observaciones en superficie y en altura. El grupo del *Meteorology Project*, sobre el que se centra principalmente gran parte del libro, promovió la utilización de ordenadores para desarrollar modelos numéricos en la investigación científica y ayudó a integrar la práctica meteorológica —realizada en los servicios meteorológicos— con el conocimiento teórico —estudiado en el ámbito académico—. En particular, como se dijo al inicio de este comentario del libro, el trabajo internacional y la integración de la investigación en el servicio meteorológico nacional de Estados Unidos fueron esenciales para progresar en el conocimiento de la meteorología.