

Semblanzas de Vilhelm Bjerknes y su legado

Capítulo I: Una vocación tardía

Manuel Palomares Calderón
m.palom@telefonica.net

Abril de 2009



Vilhelm Bjerknes en Bergen (cuadro del museo de la ciudad)

En los tiempos actuales en que la predicción del tiempo y del clima se apoyan en modelos sofisticados que usan datos de la atmósfera, el océano y el suelo recogidos en buena parte por satélites y otros sensores remotos, y los utilizan en diversas integraciones simultáneas con complicados procedimientos probabilísticos y enormes potencias de cálculo, se va olvidando la época en que los meteorólogos trabajaban solo con lápiz y papel y buscaban confirmaciones en los mapas del tiempo de las ecuaciones de la física atmosférica. Sin embargo, aquel trabajo, desarrollado sobre todo en la primera mitad del siglo XX, constituyó el firme cimiento de la meteorología y la climatología actuales, tan asociadas a la tecnología moderna.

Bjerknes sigue siendo citado como “el padre de la meteorología moderna” pero muchos estudiantes de doctorado no están seguros de si ese respetuoso título corresponde al padre, al hijo o al nieto y muchos meteorólogos creen que su legado principal fue la teoría de masas de aire y frentes desarrollada por la escuela noruega. Estas líneas están dedicadas al segundo miembro de la saga, Vilhelm Friman Koren

Bjerknes, nacido en Christiania (la actual Oslo) el 14 de Marzo de 1862 y fallecido en 1951. Su padre, Carl Anton Bjerknes (1825-1903), fue un profesor de matemática aplicada en la Universidad de Oslo, cuyas ideas científicas influenciaron notablemente la carrera inicial de Vilhelm y el hijo de éste, Jakob (“Jack”) Bjerknes, desarrolló un trabajo de enorme significación para la meteorología y la climatología actuales. Pero es a Vilhelm Bjerknes a quien debemos sobre todo la transformación de una meteorología primitiva, básicamente empírica, en una aplicación efectiva de la física del aire.

Este resumen de parte de la vida y el trabajo del segundo de los Bjerknes es sobre todo una recopilación de la clásica biografía de Robert Marc Friedman, complementada con algunas otras fuentes. El libro de Friedman, todavía no traducido al castellano, se titula “Appropriating the weather”, es decir, adecuando el tiempo, poniendo orden en la ciencia del tiempo atmosférico, que a principio del siglo XX avanzaba por diferentes caminos dando pasos desordenados y vacilantes. Debemos principalmente a Vilhelm Bjerknes que indicara la dirección correcta, pasando de utilizar una serie de conocimientos y técnicas basadas principalmente en la experiencia, a trabajar en una aplicación práctica de la dinámica de fluidos y la termodinámica, y a utilizar para ello los métodos de observación y las técnicas de representación más adecuados. Solo por el éxito que alcanzó en esa tarea, merece con justicia que se la haya inmortalizado como el padre de la meteorología moderna.

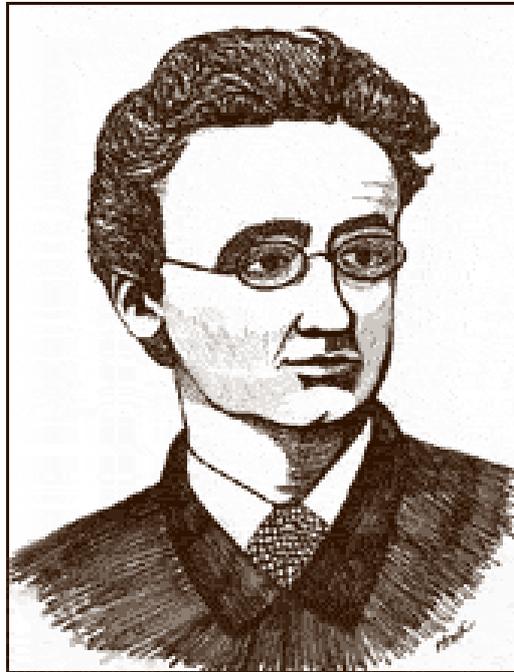
Todo ello es aún más notable si se tiene en cuenta que Bjerknes no se interesó por la meteorología hasta pocos años antes de cumplir cuarenta, y no se consagró a ella hasta que tuvo cuarenta y cuatro. Hasta entonces, su carrera había transcurrido por otros campos de la Física en los que realizó destacadas contribuciones. La primera parte de estas semblanzas están dedicadas a esa primera parte de su vida y a los años en torno al cambio de siglo, en que una serie de circunstancias involuntarias movieron a Vilhem Bjerknes a reorientar su carrera hacia el campo de la geofísica.

Una carrera marcada por la lealtad filial

A pesar de vivir en un rincón del norte de Europa alejado de los principales centros de investigación, Carl Anton Bjerknes (1825-1903), profesor de la Universidad de Oslo, desarrolló un trabajo notable en el campo de la Física, una ciencia en pleno desarrollo durante el siglo XIX. La obsesión que le guió durante muchos años fue lograr demostrar que las fuerzas newtonianas ejercidas en el vacío eran en realidad fuerzas que se producían y propagaban a través de un fluido contenido en el espacio, una idea ya sugerida por Euler. Si la inercia y los principios de las fuerzas gravitatorias y los de otras como las magnéticas y eléctricas podían aplicarse al movimiento de cuerpos dentro de un fluido, podría probarse que tales fuerzas se ejercían a través del éter, un medio todavía desconocido.

Para ello, era necesario identificar y estudiar detenidamente las analogías de las fuerzas hidrodinámicas con el magnetismo y la electricidad. Anton Bjerknes se dedicó esforzadamente a ello, no solo en el plano teórico, sino en el experimental. Hábil artesano, construyó una serie de aparatos para apoyar experimentalmente esas analogías, e implicó a su hijo estrechamente en todo ello durante sus años de estudiante en Oslo. En la Exposición Internacional de Electricidad de París de 1881, de los once Diplomas de Honor, siete fueron concedidos a concursantes extranjeros, entre ellos Thomas

Edison, Alexander Graham Bell, Werner Siemens, William Thomson (Lord Kelvin), y junto a esos famosos inventores y científicos, a una pareja de desconocidos noruegos: Anton Bjercknes y su hijo Vilhelm. El joven Vilhelm fue quien personalmente explicó y demostró el funcionamiento de un sistema de esferas pulsantes y otros artilugios que reproducían fenómenos eléctricos y magnéticos conocidos.



El joven Vilhelm Bjercknes

Pero Bjercknes padre, trabajaba bastante aislado y con un objetivo escasamente conectado con las teorías más renombradas de la física matemática de la época, basadas en fuerzas de tipo newtoniano, para explicar el magnetismo y la electricidad. Su hijo Vilhelm, aunque implicado en el trabajo de su padre, deseaba abrir horizontes para su propia carrera, y después de licenciarse en 1888, obtuvo una beca para ampliar estudios en París. Durante 1889-90 asistió a las clases de matemáticas de Hermite y Picard y a las de mecánica y física matemática de Mascart, Poincaré y otros de los mejores profesionales de la época. Mientras Bjercknes permanecía en París, crecía la fama y también la controversia sobre los descubrimientos del joven físico alemán Hertz, que acababa de demostrar la existencia de las ondas electromagnéticas cuya presencia había previsto James Maxwell. En una serie de célebres experimentos durante 1886-90, Heinrich Rudolf Hertz, nacido en Hamburgo en 1854, fue el primero en detectarlas y emitir las, probando que viajaban a la velocidad de la luz y que podían transmitir la electricidad.

Los descubrimientos de Hertz no podían ser más prometedores para el trabajo iniciado por el padre de Vilhelm Bjercknes, pensando que las ondas electromagnéticas podían propagarse a través del mismo medio en el que actuaban las fuerzas ejercidas a distancia. Esa posibilidad y el deseo de iniciar su propia carrera en un campo tan nuevo de la Física, constituyeron para el joven Vilhelm una perspectiva emocionante. Desde París escribió a Hertz pidiéndole estudiar en su laboratorio de la Universidad de Bonn y fue así como con veintiocho años se convirtió en el ayudante del científico que estaba realizando algunos de los experimentos más novedosos en la historia de la Física.



Heinrich Rudolf Hertz

La colaboración de Bjerknes con Hertz durante los dos años siguientes fue fructífera especialmente en el estudio y experimentos de fenómenos de resonancia, que tuvieron después bastante influencia en el desarrollo comercial de la radio. Sin embargo, tuvo también aspectos frustrantes. Bjerknes se encontró con que era el único estudiante de Hertz y tuvo que dedicar mucho esfuerzo al trabajo de laboratorio, casi sin ayuda, sintiendo que eso le impedía dedicarse a investigaciones más generales. Por otra parte, conocía el deseo de su padre para que continuara ayudándole en la investigación sobre las analogías hidrodinámicas. Tras un comienzo difícil, Hertz había depositado una enorme confianza en su colaborador y esperaba que se quedase en Alemania, pero Bjerknes optó por regresar a Noruega en 1892.

En Oslo, Vilhelm Bjerknes se doctoró con una tesis sobre sus investigaciones de las ondas hertzianas, y en 1893 obtuvo un puesto de profesor e investigador en la Höghskola (Escuela Técnica Superior) de Estocolmo (Noruega formaba en esa época parte del reino de Suecia). Se trataba de una reciente institución científica que pretendía competir con las más tradicionales universidades de Upsala y Lund. Tras dos años allí, se trasladó a la Universidad de Estocolmo como profesor de Mecánica Aplicada y Física Matemática. Durante esos años, Bjerknes continuó las investigaciones que había iniciado con Hertz y animado por éste publicó algunos trabajos con notable éxito internacional. Pero bajo la cercana insistencia de su padre, volvió a dedicar frecuentes esfuerzos a la relación de la hidrodinámica con las fuerzas a distancia.

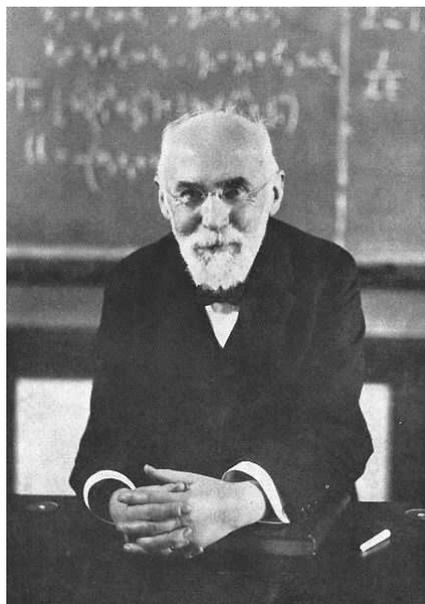
Esta época estuvo especialmente marcada por la relación entre padre e hijo. Carl Bjerknes, ya viejo, confiaba en que su hijo publicara un texto sistematizando el trabajo de muchos años sobre las analogías hidrodinámicas. Pero no solo era la lealtad filial la que impulsaba a Vilhelm. De hecho, había surgido en él una inquietud relacionada con ese trabajo, pero aún más ambiciosa: la idea de ampliar los fundamentos de la mecánica, de forma que pudieran aplicarse también a la electricidad y el magnetismo. Las fronteras que limitaban esos campos de la Física desaparecerían si demostraba la naturaleza mecánica de los campos eléctricos y magnéticos. Lográndolo, el propio

Vilhelm obtendría un reconocimiento imperecedero en la historia de la ciencia, además de reivindicar el trabajo de su padre sobre las analogías hidrodinámicas. En 1895 decidió consagrarse enteramente a ese programa y abandonó para siempre su trabajo sobre las ondas electromagnéticas. También influyó en ese cambio de dirección la muerte prematura de Hertz, en 1894. Por otra parte, los últimos estudios sobre los principios de la mecánica del malogrado físico alemán apuntaban en la misma dirección, lo que hizo que Bjerknæs se sintiera aún más motivado.

Años de frustración

Durante los últimos años del siglo, Bjerknæs llevó a cabo un trabajo agotador encaminado principalmente a reunir las investigaciones de su padre y las suyas propias en un libro que marcara un hito en la Física teórica, y en 1899 solicitó la excedencia temporal en la högskola para supervisar la publicación en Alemania. Pero justo entonces, Bjerknæs empezó a comprobar que su trabajo llegaba en mal momento. La Física estaba ya iniciando el vuelco fundamental que experimentaría durante el siglo XX, y la capacidad de la mecánica para explicar el electromagnetismo se estaba poniendo en cuestión, a favor de las teorías que atribuían a los intercambios de energía un papel fundamental en los fenómenos físicos.

Esa visión no materialista se había reforzado con el descubrimiento de partículas elementales, los electrones, y los estudios al respecto del gran físico holandés Hendrik Lorentz (Arnhem, 16 de Julio de 1853). Lorentz investigó las cargas eléctricas en los átomos y desarrolló la teoría matemática de los electrones, por lo que recibió el premio Nobel de 1902 junto con Zeeman, que verificó experimentalmente dicha teoría. En esa época, trató detalladamente con Vilhelm Bjerknæs las cuestiones relativas a los fundamentos mecánicos de la Física.



Hendrik A. Lorentz

Tras discusiones con Max Planck y Otto Wiener en Alemania, Bjerknæs ya había aceptado redactar su libro en un tono conciliatorio con las nuevas teorías, pero desde el

momento de publicarse los dos volúmenes (1900 y 1902), comprendió que no tendrían el impacto que esperaba. Se reconocía que había dado el tratamiento más completo hasta la fecha a las analogías hidrodinámicas con las fuerzas a distancia, pero era el propio enfoque básico lo que se cuestionaba. No era un rechazo completo, y el propio Lorentz animó a Bjerknes a seguir investigando sobre los fundamentos mecánicos de la Física, pero, cada vez más, Bjerknes sintió el aislamiento y la falta de interés de sus colegas. Otras circunstancias aumentaron su frustración. Tras instituirse en 1900 el premio Nobel de Física, Bjerknes pensaba que Estocolmo se convertiría en un centro líder en investigación, ofreciéndole mayor influencia y difusión para su trabajo, pero nada de eso sucedió y, a pesar del apoyo del premio Nobel de Química Svante Arrhenius, su amigo y colega en la Universidad de Estocolmo, ni siquiera fue elegido miembro del Comité del Premio. A principios del siglo XX, el físico que había iniciado tan prometedoramente su carrera se encontraba abocado a permanecer largo tiempo en la oscuridad científica.

Una puerta imprevista hacia la atmósfera. El Teorema de la Circulación

En 1896, Ludwick Silberstein, un físico polaco, había publicado un trabajo titulado “Sobre la aparición de remolinos en un fluido ideal”, que consideraba el caso de un fluido donde la distribución de la presión y la densidad no sean la misma, demostrando que en ese caso aparecen rotaciones. Se trataba, por tanto, de un resultado muy diferente a la conservación de vórtices de los teoremas clásicos de Helmholtz y Kelvin para un fluido incompresible. Vilhelm Bjerknes, que conoció el trabajo de Silberstein, profundizó en ese mismo camino, considerando fluidos donde la densidad no depende solo de la presión, sino también de variables como la temperatura y la composición del fluido. Del hecho de que la densidad puede variar para un mismo valor de presión (distribución “baroclina”) se deriva la formación y desaparición de los movimientos circulares. Bjerknes presentó por primera vez en 1897 sus resultados sobre vórtices y movimientos circulares, entre ellos la versión inicial del famoso “teorema de la circulación”. Ni siquiera mencionó su posible aplicación al movimiento de la atmósfera y, como de costumbre, su intención era utilizarlo para demostrar el fundamento mecánico del electromagnetismo y las fuerzas a distancia.

La aparición y desaparición de movimientos circulares como son las depresiones es una constante de la atmósfera, y el trabajo de Bjerknes no podía pasar desapercibido a los interesados en meteorología. Por fortuna, había alguno suficientemente próximo a Bjerknes para señalarle el interés de sus resultados teóricos para las aplicaciones atmosféricas, Nils Ekholm, un meteorólogo del Servicio sueco, formado en la universidad de Upsala, y muy implicado en los proyectos de expediciones al Polo Norte en globo. Era, como Bjerknes, gran amigo de Arrhenius, y a través de éste no tardó en contactar con Vilhelm y hacerle ver la importante utilidad del teorema de la circulación para estudiar los movimientos tridimensionales de la atmósfera y entender la naturaleza y evolución de las depresiones.

A partir de entonces, y aunque seguía absorbido por su trabajo sobre los fundamentos de la Física, Vilhelm Bjerknes empezó a mostrar interés por la geofísica y las aplicaciones meteorológicas y oceanográficas de sus teorías hidrodinámicas. Fruto de ello, fue el trabajo publicado en 1898 que contenía una nueva versión del Teorema de

la Circulación, junto con la descripción de numerosas aplicaciones, entre ellas varias muy concretamente atmosféricas.

Antes de mencionar algunas, es preciso esbozar el famoso Teorema de la Circulación. Lord Kelvin había definido años antes la Circulación Relativa, en realidad una magnitud relacionada directamente con la Vorticidad, como:

$$\mathbf{C} = \int \mathbf{u} \, d\mathbf{l}$$

Donde la integral se aplica a cualquier curva cerrada del fluido y $d\mathbf{l}$ es un vector elemental dirigido a lo largo de la curva.

Con notación moderna, el Teorema de la Circulación de Bjerknies puede expresarse como:

$$\frac{DC}{Dt} = -\oint k \, dp \quad (\text{Thorpe, Volkert and Ziemanski, 2003})$$

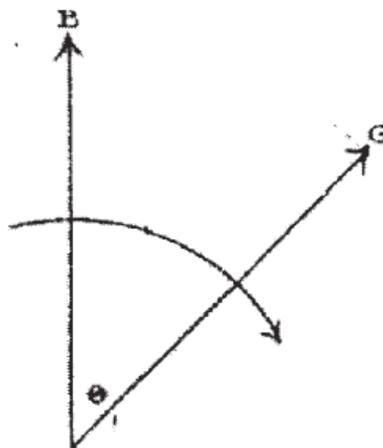
Donde C es la Circulación Relativa de Kelvin, k el volumen específico (inverso de la densidad) y p la presión.

Aplicando el teorema de Stokes:

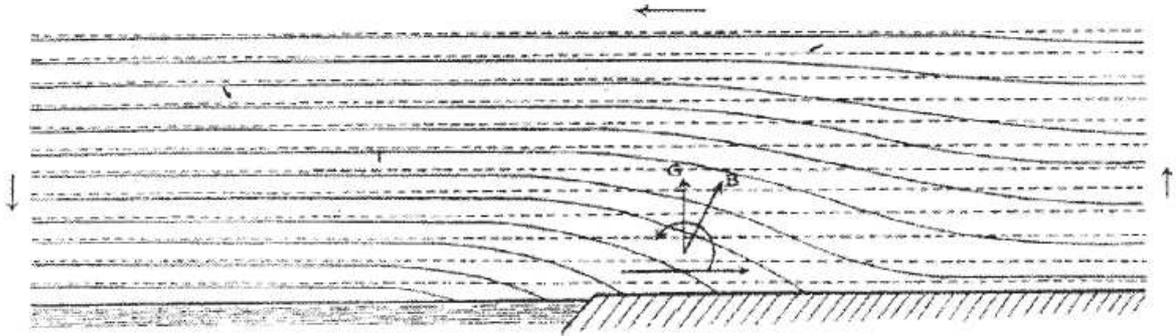
$$\frac{DC}{Dt} = \iint \mathbf{B} \times \mathbf{G} \cdot d\mathbf{A}$$

Donde B es el vector definido por $\mathbf{B} = \nabla k$; es decir, un vector dirigido de mayor a menor valor de la densidad, $\mathbf{G} = -\nabla p$ es el Gradiente de Presión dirigido de las altas a las bajas presiones y A la superficie.

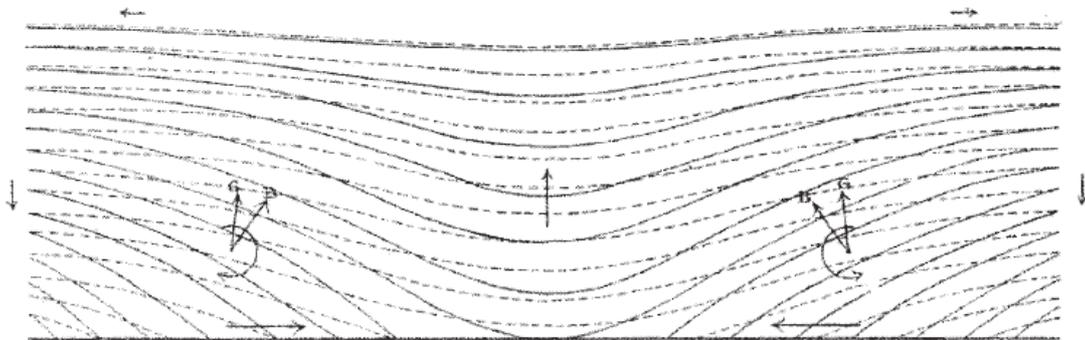
De acuerdo al teorema, cuando los vectores \mathbf{B} y \mathbf{G} tienen distinta dirección, aparece una rotación que se desarrolla del vector B al G, tal como muestra la figura siguiente, que apareció en el trabajo de Bjerknies de 1898:



En las dos figuras siguientes, también del trabajo de 1898, Bjerknes ofrece dos ejemplos plenamente atmosféricos: la circulación de la brisa de mar y la sección vertical de una depresión.



En la figura superior, la presión (líneas a trazos) disminuye uniformemente, tanto en el mar como en la costa, a la derecha, pero la densidad representada por las líneas continuas disminuye más lentamente sobre la costa, debido al calentamiento solar del terreno durante el día que se transmite al aire superficial. Por tanto, el vector B en la zona cercana a la costa no tiene dirección vertical como el G, sino oblicua y de acuerdo al teorema se establece un movimiento circular. El aire se mueve en superficie del mar a la costa, y por encima debe haber un flujo de retorno que cierra el ciclo. Esto es exactamente lo que sucede con la brisa marina diurna.



En esta otra figura, Bjerknes mostraba la sección vertical de una depresión con el aire más cálido en su parte central de forma que la densidad en esa zona disminuye más lentamente que la presión con relación a las zonas exteriores. A ambos lados, el gradiente de presión se dirige hacia arriba pero la disminución de densidad se desvía hacia el centro de la depresión. La rotación en el sentido B a G a ambos lados del centro (parece haber un error en las flechas de las dos rotaciones, debido posiblemente a algún defecto de copia) configura un sistema con dos circulaciones de sentido contrario a cada lado, convergencia en superficie, ascenso del aire en la parte central y divergencia en niveles altos, es decir la estructura básica de una depresión con centro cálido.

Creciente atracción de Bjerknes hacia la geofísica

Aparte del interés intrínseco de aplicar la teoría física a los movimientos atmosféricos, la posibilidad de realizar observaciones de la atmósfera superior mediante globos y aparatos registradores, según las sugerencias de Elkhom, podía servir para experimentar y ampliar esos resultados. Eran tiempos en que los países nórdicos, como otros europeos, mostraban un alto interés por la aerostación, tanto con objetivos militares como para exploración de zonas todavía recónditas de la Tierra como los polos. En los últimos años del siglo, la Sociedad de Física sueca aprobó un proyecto para diseñar y fabricar instrumentos de observación a bordo de globos, ofreciendo a Bjerknes la disponibilidad futura de los datos.

Aunque se sentía reacio a implicarse más en esas investigaciones, a Bjerknes le costaba también permanecer ajeno a las mismas. Y durante los años siguientes, casi sin pretenderlo, empezó a gestarse el cambio de orientación de su carrera. Al tiempo que comprobaba el desinterés de sus colegas por su obra sobre los fundamentos mecánicos de la Física, su todavía modesta implicación en las ciencias atmosféricas era objeto de un interés creciente. En cuanto su trabajo fue conocido fuera de Suecia, meteorólogos prestigiosos como el norteamericano Cleveland Abbe o el austriaco Julius Haan solicitaron sus artículos para las revistas que dirigían y empezó a recibir atención y apoyo de otros países. El interés por los desarrollos teóricos de Bjerknes provenía también de la comunidad oceanográfica, e incluso atrajo el interés de la industria pesquera noruega, por la relación entre la evolución de las corrientes y la situación de los bancos de pesca.

Bjerknes veía además que en este nuevo campo le resultaba mucho más fácil crear escuela y reunir colaboradores. En 1901 publicó “Circulación relativa a la Tierra”, un trabajo donde desarrollaba la formulación clásica del Teorema de la Circulación aplicado a la atmósfera, incluyendo ahora los efectos de la rotación de la Tierra y del rozamiento con la superficie. En esa época dividía ya su tiempo a partes iguales entre la geofísica y su trabajo teórico anterior. Había comenzado a reunir a algunos colaboradores de valía, como J. W. Sandström, e incrementó su contacto con los investigadores geofísicos y los Servicios Meteorológicos de otras partes del mundo.

Todo parecía haberse confabulado para hacerle recapitular. Cuanto más dificultoso encontraba el camino que había emprendido con su padre, fallecido en 1903, más se abría esa nueva puerta hacia la Física del Aire y la Meteorología. En 1904, Bjerknes escribía en una carta a Nansen, un oceanógrafo con el que había establecido una estrecha colaboración: *“no puedo rehuir más tiempo la respuesta a lo que verdaderamente quiero hacer, y creo que sólo hay una: resolver el problema de predecir el estado futuro de la atmósfera y el océano”* En 1905 fue invitado a dar unas conferencias en Estados Unidos, y la institución Carnegie, impresionada, le otorgó una generosa beca para continuar sus investigaciones, ayuda que siguió renovándole hasta que tuvo 79 años. Por fin, a principios de 1906, Vilhelm Bjerknes anunció su propósito de dedicarse enteramente a las ciencias atmosféricas y la Meteorología.

Referencias (para este primer capítulo)

Friedman, R.M., 1989: *Appropriating the Weather: Vilhelm Bjerknes and the Construction of a Modern Meteorology*, Ithaca and London, Cornell University Press, 286 pp. **(utilizado fundamentalmente)**

Nebeker, F., 1995: *Calculating the Weather: Meteorology in the 20th century*. Academic Press, San Diego, 251pp.

Alan J. Thorpe, Hans Volkert y Michael J. Ziemianski: *The Bjerknes' Circulation theorem, a historical perspective*, AMS Journal, abril 2003.