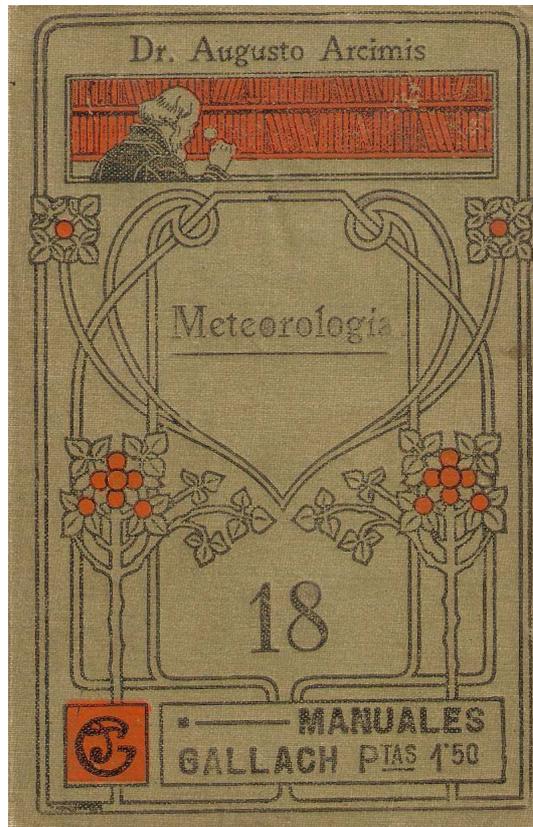


Meteorología de Arcimis

Alejandro Roa Alonso



Portada de la edición de Gallach de la *Meteorología* de Augusto Arcimis.
Fue la tercera edición que se hizo de la obra y data de 1920.

El centenario del fallecimiento de Augusto Arcimis Wehrle, primer director de los servicios meteorológicos en España, es un buen momento para echar la vista atrás e intentar obtener una panorámica de la ciencia meteorológica de su época, a caballo entre los siglos XIX y XX, utilizando como prisma el manual que con el título “Meteorología” publicó Arcimis hacia 1902, editado posteriormente en al menos dos ocasiones, siendo la 3ª edición, publicada en 1920 dentro de la colección “Manuales Gallach”, la que seguiremos en el presente artículo. Vaya por delante que las valoraciones de su contenido como “correcto”, “incorrecto” o cualquier otra calificación, se refieren a su relación con los conocimientos y teorías aceptadas por la ciencia meteorológica actual, vistas a su vez a través del prisma de los conocimientos al respecto del autor del artículo.

Pero antes de entrar en materia echemos un vistazo al contexto, tanto al personal de Augusto Arcimis, como a la situación de la meteorología española en los años finales del siglo XIX.

Por lo que respecta a Arcimis, lo primero que hay que hacer notar es que no tuvo una formación oficial en ciencias físicas o alguna titulación similar. Sus estudios universitarios fueron en la Facultad de Farmacia de Cádiz, su ciudad natal, obteniendo incluso el doctorado, tal y como se refleja en la portada de su libro, pero sin llegar a ejercer nunca. Durante muchos años su medio de vida fue un negocio de vinos familiar, aunque las dificultades económicas le llevaron a tener que

trabajar una temporada en una fábrica de alquitrán de Madrid. La situación personal de Arcimis mejoró cuando en 1884 obtuvo las cátedras de astronomía y física en la Institución Libre de Enseñanza dirigida por Francisco Giner de los Ríos (1839-1915), a cuyo círculo regeneracionista y liberal pertenecía desde que le conoció en Cádiz, en 1875, con motivo del exilio de Giner en la ciudad andaluza¹.

Pero la gran pasión de Arcimis, desde su temprana juventud, fue la astronomía, en la que se formó de modo totalmente autodidacta, completamente al margen de la astronomía oficial española representada por los Observatorios de Madrid y de San Fernando. Su dominio de varias lenguas y sus múltiples viajes al extranjero le permitieron estar al tanto de las últimas novedades europeas en materia de astronomía, siendo el introductor en España de la espectroscopia. Instaló un observatorio astronómico en su propio jardín, conocido familiarmente como la *Specola*, fue miembro de prestigiosas asociaciones como la *Royal Astronomical Society of London* y la *Società degli Spettroscopisti Italiani*, publicando habitualmente artículos en sus respectivas revistas y alcanzando un gran prestigio fuera de España. De puertas adentro de su nación se dedicó sobre todo a una intensa labor de divulgación reflejada en su gran obra en dos tomos, *El telescopio moderno* (1878-79) compendio, sin aportaciones propias, de los conocimientos astronómicos de la época o, según su propio autor, “una exposición popular de los últimos descubrimientos de los grandes sabios”. A pesar de todos sus méritos, Arcimis siempre fue consciente de ser un *outsider* en cuestiones de astronomía, y decía de sí mismo con modestia a la par que gracejo andaluz que “no era un astrónomo sino un desgraciado que alguna vez para ejercitar los músculos cervicales alzaba la cabeza al cielo”.²

En cuanto a la meteorología, muy posiblemente el interés de Arcimis se derivaba del que sentía por la astronomía, su gran pasión, en una época en que ambas disciplinas seguían aún fuertemente entrelazadas en España, según la tradición secular, hasta el punto de que el organismo oficial encargado de ambas hasta 1887 era único, el Real Observatorio Astronómico y Meteorológico de Madrid. El interés de Arcimis por esta ciencia se refleja en que su observatorio casero era también meteorológico, así como en algunos artículos publicados en *La Ilustración Española y Americana* o en el *Boletín de la Institución Libre de Enseñanza*, con temas tan variados como los monzones, el granizo, la Torre de los Vientos de Atenas o las últimas teorías en meteorología dinámica, siempre con un tono divulgativo y erudito, sin incluir en ningún momento formulaciones matemáticas. Podemos concluir que Arcimis era más bien un aficionado a la meteorología, con un gran conocimiento de los instrumentos y técnicas de observación, al igual que lo era en cuestiones de astronomía, pero sin una verdadera preparación en cuestiones de meteorología dinámica y predicción del tiempo, materias cuya introducción en España era por entonces testimonial.

Lo anterior está relacionado con la situación de la meteorología oficial en España en relación con la de otros países europeos. El primer servicio oficial fundado en Europa fue el prusiano, en 1847, promovido por Alexander von Humboldt. Posteriormente fueron creados el austríaco, en 1851, el de los Países Bajos y el del Reino Unido, en 1854, y el francés, en 1855. Durante las siguientes décadas se fueron creando los servicios meteorológicos del resto de Europa, además de en los Estados Unidos, en 1870, de suerte que en los años 80 sólo tres países europeos no disponían de un servicio meteorológico central dedicado a la predicción del tiempo y a la coordinación de las observaciones meteorológicas.

¹ Para más información sobre la relación entre Arcimis, Giner de los Ríos y la Institución Libre de Enseñanza, así como otras circunstancias de la vida de Arcimis, ver Anduaga, Aitor: “La regeneración de la astronomía y la meteorología españolas: Augusto Arcimis (1844-1910) y el institucionismo”. En *Asclepio*, Vol. LVII-2, 2005, pp. 109-128.

² Carta a Fernández de los Ríos, 1 de abril de 1876, citada en Anduaga, A.: Op. cit., p. 24

Cuando por fin se creó el Instituto Central Meteorológico, por Real Decreto de 11 de agosto de 1887, España llevaba un atraso más que considerable respecto al resto de Europa. Como es bien conocido, el fundador de la Institución Libre de Enseñanza, Francisco Giner de los Ríos, tuvo un papel destacado en la creación del Instituto y en convencer a su gran amigo Augusto Arcimis para presentarse a la oposición convocada para ocupar el puesto de Director. Tras superar el examen, que consistía en una serie de ejercicios teóricos y prácticos, entre ellos uno de observación con instrumentos y otro de pronóstico meteorológico, además de una prueba de manejo de idiomas, Arcimis se convirtió en el Director del Instituto Central Meteorológico el 19 de marzo de 1888 y en la primera persona dedicada profesionalmente a la meteorología en España. Aunque quizá no en el primer meteorólogo, sino en el primer “meteorologista”, denominación que utiliza repetidamente en su libro para referirse a su profesión, idéntica a la que se usa en portugués y que el DRAE admite como sinónimo de “meteorólogo”.

Durante los siguientes veintidós años, hasta su fallecimiento el 18 de abril en 1910, Arcimis, con el tesón que le caracterizaba y sin más ayuda en principio que un auxiliar y un ordenanza, mantuvo en pie la institución, que incluso desapareció oficialmente durante algo más de un año, entre abril de 1891 y julio de 1892. El 1 de marzo de 1893 se publicó el primer boletín meteorológico, con datos de observatorios españoles y extranjeros, un rudimentario mapa sinóptico, una somera descripción del estado general de la atmósfera y una tímida predicción para el día siguiente, de poco más de tres líneas.

No se avanzó mucho más en los diecisiete años siguientes, aunque a partir del 1 de enero de 1906 el Instituto Central Meteorológico pasó a centralizar toda la actividad meteorológica, hasta entonces compartida con el Observatorio Astronómico. Pero los medios eran muy escasos, el presupuesto minúsculo y la plantilla, aunque ampliada con dos nuevos auxiliares interinos a partir de ese mismo año, seguía siendo mínima.

Es en este contexto cuando Arcimis, que a pesar del gran trabajo que suponía dirigir el Instituto en ningún momento perdió su interés por la labor divulgativa, publicó hacia 1901 ó 1902³ su pequeño libro *Meteorología*, precedido unos años antes, en 1895, por un artículo no muy extenso titulado “La circulación atmosférica”.

Y es que, efectivamente, la *Meteorología* de Arcimis no es precisamente un libro muy ambicioso. Él mismo se refiere a él como “obrita” en la página 14 de la edición de Gallach, que es la que seguimos aquí, y que consta de un total de 198 páginas, incluyendo el índice. Se trata realmente de un manual de divulgación más que de un tratado técnico, centrado sobre todo en las técnicas e instrumentos de observación, materias en las Arcimis era bastante entendido, pero sin entrar apenas en cuestiones de dinámica y de predicción del tiempo.

Veamos, en primer lugar, cómo está estructurado el libro de Arcimis.

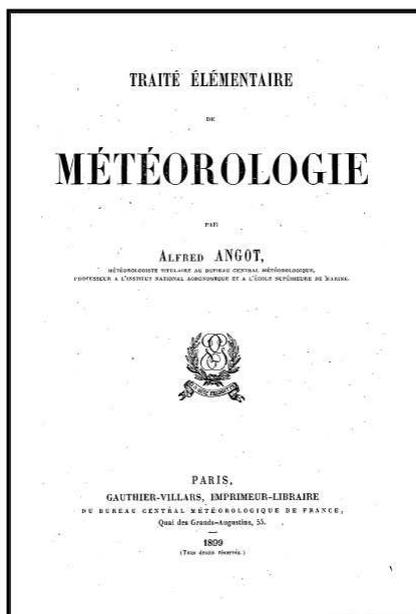
Consta de una pequeña introducción y de 9 capítulos, acompañados de 37 ilustraciones, de las que casi la mitad, 17, corresponden a instrumentos de observación y otros 5 a gráficas obtenidas con ellos (de temperatura, presión o rosas de vientos). El resto son grabados de no mucha calidad reproduciendo las clases de nubes, los tipos de cristales de nieve y otros meteoros, como el poco habitual espectro del Brocken, además de unos pocos dibujos esquemáticos relacionados con la meteorología dinámica (circulación del viento, sistemas ciclónico y anticiclónico y trayectoria de los

³ No está clara la fecha exacta de publicación de la obra, aunque como veremos más adelante su propio contenido da buenas pistas al respecto.

ciclones) o con la explicación de algunos meteoros (teorías del arco iris y del espejismo). En la edición de Gallach hay un apéndice que contiene un vocabulario no muy completo de las voces técnicas del libro, añadido por el editor.

El índice de capítulos es el siguiente: I – La atmósfera. II – El calor. III – La temperatura del aire. IV – La presión del aire. V – El vapor de agua del aire. VI – El movimiento del aire. VII – Fenómenos eléctricos de la atmósfera. VIII – Fenómenos eléctricos de la atmósfera. VIII – Fenómenos ópticos de la atmósfera. IX – El tiempo. Es decir, de los nueve capítulos ocho están dedicados a la observación y descripción de los elementos meteorológicos y uno a la correlación que existe entre ellos y “*que, en definitiva, viene a caracterizar el tiempo*”, tal y como el propio Arcimis dice al inicio del último capítulo. Esta desproporción no guarda relación con el estado del conocimiento meteorológico en la época de Arcimis.

Podríamos comparar su manual con algunos de sus contemporáneos, por ejemplo la *Elementary Meteorology* publicada en 1894 por el norteamericano William Morris Davis (1850-1934), geógrafo y geólogo, antes que meteorólogo, creador de la ciencia de la geomorfología o estudio del relieve. Su mucho más voluminoso manual comienza igualmente con dos capítulos dedicados a la atmósfera, continúa con otros sobre el calentamiento solar, los colores del cielo, la distribución y medida de la temperatura en la atmósfera, la presión y circulación general, la clasificación general de los vientos, la humedad atmosférica, y un capítulo sobre el rocío, escarcha y las nubes, ocupando todo ello la primera mitad del libro. La otra mitad la dedica a la dinámica atmosférica, comenzando con un amplio capítulo, el décimo (*Cyclonic storms and winds*) dedicado al estudio de los ciclones tropicales y extratropicales, su desplazamiento y los vientos asociados; continuando con el undécimo (*Local storms and winds*), en el que estudia las tormentas, líneas de turbonada, tornados y otros fenómenos de lo que hoy llamamos mesoescala; en el duodécimo (*The causes and distribution of rainfall*) trata de los hidrometeoros y su relación con la circulación general; y por último los capítulos trece (*Weather*) y catorce (*Climate*) los dedica respectivamente a la observación y predicción del tiempo, incluyendo una breve historia del National Weather Service, operativo desde 1870, y a la distribución y características de los climas en la Tierra, además de su evolución geológica. Como se ve, un programa mucho más ambicioso que el de Arcimis.



Otro ejemplo de manual meteorológico contemporáneo, muy difundido en España, y sin ninguna duda conocido por Augusto Arcimis⁴, según iremos viendo, es el *Traité élémentaire de Météorologie*, obra de 1899 del climatólogo francés Alfred Angot (1848-1924). Con algo más de 400 páginas, la obra se estructura en una introducción en la que Angot tras definir Meteorología como la “*parte de la física de la Tierra que trata especialmente de aquellos [fenómenos] que tienen lugar en la atmósfera*”⁵, dice que habitualmente se divide en Climatología y en Meteorología dinámica, pero que se relacionan tanto que sería imposible estudiarlas por separado. Tras esta introducción, el libro primero, dedicado a la temperatura consta de tres capítulos: actinometría (i. e., medida de la radiación), temperatura del aire y temperatura del suelo y del agua; el segundo libro trata sobre la presión atmosférica y el viento, un capítulo para cada variable, introduciendo los conceptos de la meteorología dinámica y la

⁴ Así lo afirma Anduaga, A.: Op. cit. p. 18, y es fácil comprobarlo a partir de la comparación entre ambos textos.

⁵ Angot, Alfred: *Traité élémentaire de Météorologie*. Bureau Central Météorologique de France, París, 1899, p. 6. (Traducido por el autor de este artículo)

circulación general de la atmósfera; el libro III consta de cuatro capítulos sobre el agua en la atmósfera, incluyendo la nubosidad, meteoros acuosos, fotometeoros, etc.; en el IV se describen las perturbaciones de la atmósfera a lo largo de tres capítulos: ciclones de latitudes medias, tormentas y trombas marinas y terrestres; el V y último está dedicado a la previsión del tiempo, con dos capítulos dedicados al estado de la cuestión en aquellos años de finales del siglo XIX.

No queremos decir con lo anterior que el pequeño manual del que fue primer director de la meteorología española carezca de valor. Al contrario, como todo lo que escribió Arcimis es un reflejo de su gran erudición, combinada con el dominio de las técnicas e instrumentos de observación. A lo largo de todo él se encuentran interesantes informaciones, detalles curiosos, descripciones detalladas, y puede que algún que otro anacronismo.

La breve introducción, poco más de dos páginas, comienza, como no podía ser menos en tan gran aficionado a la astronomía, fijando su atención en el cielo, concretamente en la Vía Láctea, de la cual nuestro sol no es más que una entre tantas estrellas, rodeada de planetas, entre ellos la Tierra. Recordemos que entonces todo el Universo conocido se reducía a la Vía Láctea o Galaxia, pues no fue hasta casi veinte años después cuando se admitió que existían otras galaxias o “universos isla”, siendo la nebulosa de Andrómeda la primera en ascender a esta nueva categoría en 1925. A continuación suministra Arcimis unos pocos datos astronómicos y menciona las dimensiones de la Tierra, cuya circunferencia ecuatorial *“mide 10.200 leguas métricas, que un tren de ferrocarril de los llamados rápidos, recorrería, sin detenerse, en un par de semanas”*, lo que nos permite saber que la legua métrica mencionada por Arcimis era de 4 km y que por entonces los trenes alcanzaban velocidades cercanas a los 120 km/h. Tras describir someramente las tres principales zonas climatológicas de la Tierra, tórrida, templada y polar, concluye la introducción diciendo que *“todo el planeta está cubierto de y rodeado por una envoltura de gases y vapores que se llama atmósfera; el estudio de los fenómenos físicos que ésta presenta es el objeto de la Meteorología”*.

El capítulo primero, también de poco más de dos páginas, trata de esta envoltura, la atmósfera, cuya composición describe de modo bastante correcto, incluyendo la proporción del *“nuevo gas llamado argo, con sus asociados helio, cripto, neo y jeno”*. Efectivamente, los gases nobles helio, argón, neón, kriptón y xenón, a los que se refiere Arcimis, habían sido descubiertos muy recientemente, los tres últimos apenas tres o cuatro años antes, en 1898, el neón en 1894 y el helio en 1868. En cuanto a la altura que alcanza la atmósfera admite que se conoce con poca exactitud, citando como primero en ocuparse del tema al árabe Alhazén (965-1040), *“que la fijó en 52.000 pasos, basándose para su determinación, en la reflexión de la luz del Sol por las nubes superiores”*. Cita también a Laplace, que llevaba el límite superior de la atmósfera hasta 35.675 metros, que es la distancia a la que se equilibran las fuerzas gravitatoria y centrífuga y a la que se sitúan desde hace varias décadas los satélites geoestacionarios. Pero afirma finalmente que *“las observaciones de las estrellas fugaces y de la duración de los crepúsculos, reducen este número a 200 ó 300 Km; pero es de advertir que los fenómenos meteorológicos se verifican todos a una elevación sobre la superficie del suelo, que no pasa de 20 a 25 Km”*. No iba muy desencaminado pues Arcimis en tan compleja cuestión como es determinar la altura de la atmósfera, pero sí en determinar la capa de interés de los fenómenos meteorológicos. Dejando de lado la primera de estas cuestiones, todavía hoy objeto de debate y muy lejos del alcance de la ciencia meteorológica en la época de Arcimis, veremos en el capítulo tercero el estado en que se hallaban los estudios sobre las capas inferiores de la atmósfera en estos años del cambio de siglo XIX al XX.

El segundo capítulo, algo más largo que el primero, cinco páginas, se titula “El calor”, pero en realidad no trata de esta cuestión más que en el primer párrafo, donde dice que *“el calor es la causa principal de todos los fenómenos meteorológicos; como fuente de calor hay que considerar*

exclusivamente al Sol, pues ni el de los demás astros, ni el interno de la Tierra tienen importancia en Meteorología”, lo que es bastante cierto, si bien de modo indirecto el calor de la Tierra sí que juega su papel, como ocurre con las erupciones volcánicas de las que hemos tenido un ejemplo muy recientemente con el volcán islandés del glaciar Eyjafjallajokull, o casi un siglo antes del libro de Arcimis, con la erupción del volcán Tambora en 1815, cuyas cenizas fueron causa del llamado “año sin verano”.

Pero tras esta mínima introducción nos dice Arcimis que “*el calor se mide con el termómetro*” y pasa a continuación a explicar algo de su historia y de su funcionamiento. Nos dice que la escala centígrada es la más corriente, aunque también describe la escala Réaumur y la Fahrenheit, observando que la primera “*casi no se emplea actualmente*”. No deja de llamar la atención que dicha escala de origen francés se siguiera estudiando en el bachillerato, al menos hasta los años 70 del siglo XX, cuando ya estaba en desuso al menos tres cuartos de siglo antes. Describe también el autor los termómetros de máxima y mínima, iguales a los que se usan hoy en día, y el de Six (ver figura), válido para las dos cosas y que también sigue en uso. Finalmente menciona los termómetros registradores (no los llama “termógrafos”) y describe las garitas termométricas, también en todo similares a las que se usan actualmente, que “*se colocan a metro y medio sobre el suelo, y éste debe estar sembrado de hierba, siempre que sea posible*”. ¡Esto sí que es un invariante meteorológico! Así pues todo el capítulo, a pesar de su título, está dedicado a la temperatura y a los instrumentos que la miden, quizá confundiendo Arcimis ambos conceptos, temperatura y calor. No debía tenerlo muy claro, pues llega a afirmar hablando de la escala termométrica que “*los grados superiores se llaman de calor y los inferiores de frío o bajo cero*”.

El capítulo tercero está dedicado a la temperatura del aire y tiene un mayor desarrollo, diecinueve páginas. En el primer apartado (“Cómo se caldea la atmósfera”) sí entra Arcimis en conceptos relacionados con el calor, como la radiación, absorción, reflexión y conducción de los “*rayos caloríficos*” solares. Menciona al respecto el “*calor que los físicos llaman obscuro*” (o sea, la radiación infrarroja) como principal causa del calentamiento de la atmósfera. Los siguientes apartados están dedicados a la oscilación diurna y “*anua*” de la temperatura, incluyendo algunas gráficas que muestran dichas variaciones en diversos lugares de la Tierra, con explicación de las diferencias entre ellos, basadas en la latitud, altitud y continentalidad. Menciona como temperatura más baja la registrada en Werchojansk (Verjoyansk), Siberia, donde “*ha marcado el termómetro 67°8 de frío*”. Este dato corresponde, aunque no lo menciona Arcimis, a la temperatura registrada el 7 de febrero de 1892 (según algunas fuentes fueron -69.8°C), temperatura no superada todavía, aunque en el pequeño y no muy lejano poblado de Oymyakon parece ser que el 26 de febrero de 1926 se alcanzaron -71.2°C, si bien este dato no está aceptado oficialmente, ya que no se midió directamente sino por extrapolación. Evidentemente Arcimis no disponía de datos sobre la Antártida, donde el 21 de julio de 1983 se registraron -89.2°C en la estación rusa de Vostok, pues en la época en la que escribió su libro no existía todavía ninguna base estable en aquel continente, aunque ya había comenzado la era de las grandes expediciones que llevaron a Amundsen a alcanzar el Polo Sur diez años después.

Continúa Arcimis explicando la variación de la temperatura en el suelo y bajo él, aportando alguna noticia curiosa como que en el desierto de Nubia “*se cuecen los huevos colocándolos al sol*”

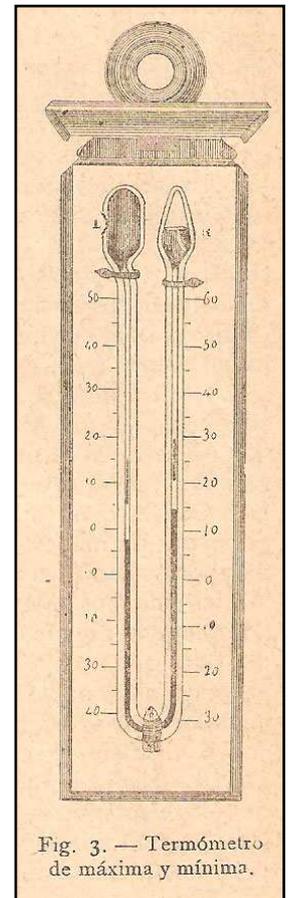


Fig. 3. — Termómetro de máxima y mínima.

en la arena” y “en Australia se han inflamado, al contacto del suelo asoleado, los fósforos que accidentalmente se le cayeron a un viajero” o, hablando de la capa de temperatura invariable bajo el nivel del suelo, que “en los sótanos del Observatorio de París, que forman parte de las famosas catacumbas, se colocó un termómetro hace más de dos siglos, que durante todo este largo periodo de tiempo ha marcado constantemente 11°7 de temperatura”. Explica también cómo al descender en los pozos por debajo de la capa invariable la temperatura crece 1° por cada 26 metros de profundidad, deduciendo que “a 6 ú 8 Km. no habrá metales sólidos, y las rocas más resistentes, como el granito y otras, se hallarán en estado flúido”. No consta que entre los intereses de Arcimis estuviera la geología, que en aquellos años iniciales del siglo XX había empezado a aplicar el método sísmico para determinar la estructura de la Tierra, ni tampoco nos interesa aquí tratar de esta cuestión tan ajena a la ciencia meteorológica, así que pasemos al siguiente apartado, de mucho mayor interés tanto para nuestro autor como para la historia de la meteorología.

Y es que el siguiente apartado, la variación de la temperatura con la altitud, se relaciona con una de las investigaciones clave en estos años del cambio de siglo. Poco antes habían comenzado las investigaciones de la alta atmósfera por medio de globos sonda, inventados en 1892 por Gustave Hermite y George Besson, quienes al año siguiente efectuaron los primeros lanzamientos. Pero fue el también francés Léon Teisserenc de Bort (1855-1913) el verdadero impulsor de los estudios de la alta atmósfera desde que en 1895 comenzó a enviar globos sonda que alcanzaban gran altura. La sonda iba dentro de una cesta de mimbre que colgaba del globo, y comprendía instrumentos que registraban la temperatura y la presión. Al observar los datos registrados se pudo constatar la existencia de una capa en la que la temperatura de la atmósfera dejaba de disminuir y se mantenía constante, contrariamente a la creencia general de la disminución permanente de la temperatura con la elevación. Desde 1896 se efectuaron observaciones coordinadas de la alta atmósfera en Europa y en los E.E.U.U., constatando finalmente que lo observado por Teisserenc de Bort no era un error debido a los instrumentos de medición, sino que realmente existía en la alta atmósfera una capa isoterma cuya altitud variaba según lugares y época del año entre los 10 y los 16 km. Pero subiendo por encima de esta capa, en 1898 el investigador francés descubrió que la temperatura ya no disminuía ni se mantenía constante, sino que aumentaba: había descubierto la estratosfera. Ante el temor de no ser tomado en serio, Teisserenc de Bort no hizo público el descubrimiento hasta el 28 de abril de 1902, con una presentación en la Academia de Ciencias francesa de su trabajo “Variaciones en la temperatura en el aire libre en la zona comprendida entre los 8 y los 13 km”.⁶

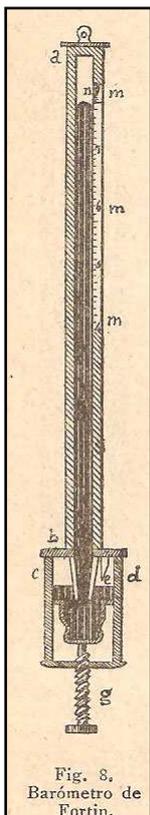


Sonda meteorológica con paracaídas utilizada a finales del siglo XIX

⁶ Más información en “El descubrimiento de la estratosfera”, artículo publicado en la *Revista del Aficionado a la Meteorología* (www.meteored.com/ram) el 9 de noviembre de 2007.

El que no mencione Arcimis tan esencial descubrimiento permite inferir que la redacción de su obra es anterior a la citada fecha, pues la aerostación científica sí era un tema que interesaba vivamente al sabio gaditano, hasta el punto de participar él mismo en una ascensión en globo con motivo de un eclipse de sol en 1905, acompañado del pionero de la disciplina en España, el militar Alfredo Kindelán.⁷ En su pequeña obra muestra estar al tanto de los estudios que se estaban llevando a cabo en otros países donde “con los globos-sondas se ha podido registrar la temperatura del aire á más de 14.000 metros de altura. En Francia se han lanzado, en los años de 1898, 1899 y 1900, más de 240 globos sondas; los aparatos van colocados en un canasto forrado por un papel plateado, suspendido de una larga cuerda, para impedir, en lo posible, los efectos de la radiación solar”. Menciona que la temperatura más baja registrada en la alta atmósfera era de 57° bajo cero y da también algunos datos sobre la altura de la isocero, que “en invierno [...] se encuentra á los 1.200 metros, y en el verano á los 3.600 metros. La altitud media de esta capa en el curso del año es de 2.750 metros, que viene á coincidir con la de nieves perpetuas en los Alpes”.

La mención de las observaciones del año 1900 nos dan una fecha *post quem* para la redacción de la *Meteorología* de Arcimis (aunque más adelante veremos que se puede precisar algo más), mientras que la exposición del trabajo de Teisserenc de Bort en abril de 1902 nos da una *ante quem*, contando, claro está, con que por muy al tanto que estuviera nuestro autor de los últimos avances en estas materias, en aquellos tiempos primitivos en los que no había internet aún habría de pasar un tiempo en que le llegaran las noticias sobre la exposición del investigador francés.



El último apartado del capítulo tercero trata sobre la distribución de la temperatura en la superficie del globo, mencionando a Humboldt como el primero que usó las líneas isotermas, cosa que efectivamente ocurrió en 1817. Ésta es tan sólo una entre la infinidad de aportaciones a la Ciencia del gran sabio alemán Alexander von Humboldt (1789-1859), geólogo, naturalista, antropólogo y mil cosas más, y que como mencionamos más arriba fue el promotor de la creación del servicio meteorológico prusiano en 1847, el primero establecido en Europa y en el Mundo.

El cuarto capítulo de la *Meteorología* de Arcimis, de longitud similar al tercero, otras diecinueve páginas, trata sobre la presión del aire. Comienza con la correspondiente introducción histórica en la que menciona los intentos de Aristóteles (384-322 a. C.) de medir el peso del aire por medio de odres llenos y vacíos, la invención del barómetro por Torricelli (1608-1647), discípulo de Galileo (1564-1642), con descripción de su funcionamiento, y las previsiones de Pascal (1623-1662) acerca de la disminución de la presión con la altura, posteriormente comprobadas por “un pariente” suyo que “consiguió observar la depresión de la columna mercurial, en la cima de la montaña del Puy de Dôme, en el centro de Francia”. El mencionado pariente era Florin Périer, marido de la hermana mayor de Pascal, que relató el detallado y altamente científico experimento de Puy-de-Dôme en una carta a su cuñado.⁸

Tras la introducción, se adentra Arcimis en su tema favorito, el terreno donde se ve que se encuentra más cómodo: los instrumentos para medir la presión y su

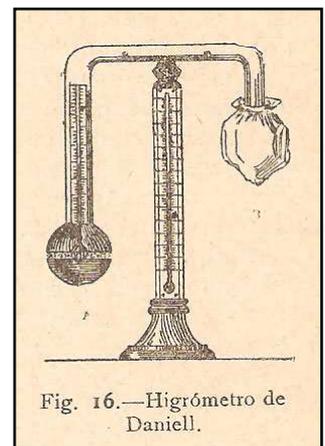
⁷ Sobre la accidentada ascensión en globo de Arcimís y Kindelán ver Palomares, M.: “La ascensión en globo de Arcimís en 1905”. En www.divulgameteo.com, febrero, 2010.

⁸ Puede encontrarse parte del relato en la entrada de Wikipedia dedicada a Blaise Pascal. La diferencia de presión que Périer encontró entre la base y la cima del Puy-de-Dôme, distantes unas 500 brazas (aproximadamente 900 metros) fue de algo más de 3 pulgadas.

funcionamiento y hasta la técnica para su construcción. Describe los barómetros de Fortín (ver figura) o de cubeta movable, de Gay-Lussac o de sifón, y el de cubeta fija (el más usado actualmente), así como de los barómetros aneroides y de los barómetros registradores (no los llama barógrafos). Todo lo que explica acerca de los métodos de medición, corrección de la medida y registro de los datos sigue siendo perfectamente válido un siglo después, al igual que ocurría con lo referido a las mediciones de temperatura. Igualmente válido es lo que menciona en los siguientes apartados sobre la oscilación diurna y “anua” de la presión, aunque la explicación sobre la primera, en la que no entraremos, es muy poco convincente, aún para el propio Arcimis, que la considera arbitraria. Concluye este capítulo con la correcta descripción de la variación de la presión con la altitud y con una descripción esquemática de la distribución de la presión en la superficie del globo a lo largo del año, bastante correcta, pues en su época ya había un conocimiento casi total de la superficie del planeta, si exceptuamos las regiones polares. No andaba desencaminado tampoco en la descripción de la distribución de las presiones en niveles altos, respecto a lo cual afirma que “*á 4.000 metros no existe más que un gran máximo barométrico, que como un gran anillo rodea toda la Tierra en la prolongación del ecuador, y desde el cual disminuye la presión hacia los polos*”.

El quinto capítulo trata sobre el vapor de agua en el aire, incluyendo las nubes y los hidrometeoros, lo que hace que sea el más largo con diferencia, cincuenta y una páginas. El primer apartado trata sobre la evaporación, y tras algunas consideraciones acerca de la naturaleza y propiedades del vapor de agua, pasa enseguida a describir los instrumentos que permiten medirla, algunos de ellos hoy en desuso. Menciona en primer lugar el atmidómetro, utilizado entonces y ahora para medir la evaporación (el que describe Arcimis y aparece reproducido es el conocido como evaporímetro Piché), incluyendo aquí dos cuadros sobre evaporación media en el mundo y en la Península Ibérica.

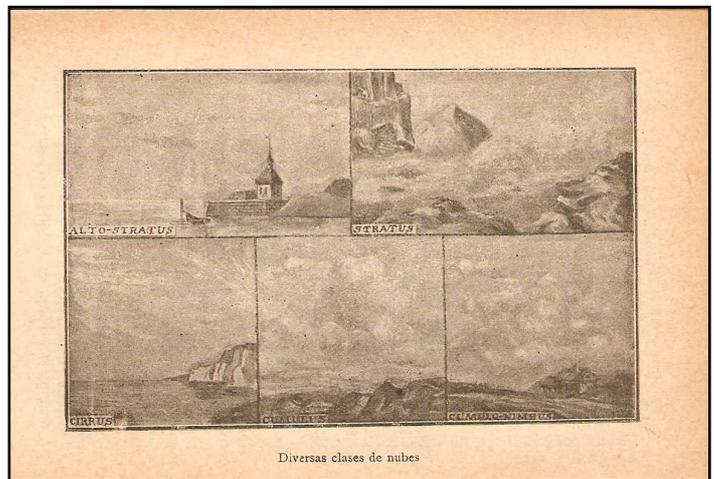
En el segundo apartado trata sobre la humedad y los instrumentos ideados para medirla, comenzando con el psicrómetro de August, que considera el más exacto (otra cosa que no ha cambiado en un siglo), siguiendo con el higrómetro de cabello, inventado por el físico suizo Saussure, y terminando con el de Daniell (ver figura). Este último, inventado en 1820 por el físico y químico inglés John Frederic Daniell (1790-1845) no es habitual hoy en día. Su funcionamiento, que Arcimis describe prolijamente, se basa en la evaporación y condensación de éter en dos esferas unidas por un tubo de vidrio en forma de U invertida, con un termómetro inmerso en el éter de la bola A y otro entre ambas bolas para medir la temperatura ambiente. Se enfría la bola B envolviéndola en una muselina “*y el éter de la bola A, á causa de la diferencia de temperatura, destila en esta bola y se condensa en la otra*”. El enfriamiento de la bola A produce condensación del vapor de agua que la rodea, lo que se puede observar visualmente al estar la bola “*dorada por su ecuador*”. Ya sólo resta medir la temperatura del termómetro inmerso en la bola A y con ayuda de las correspondientes tablas y de la temperatura del aire que nos da el termómetro mayor, calcular la tensión del vapor de agua.



Los apartados III y IV, de modo similar a los capítulos anteriores sobre la temperatura y la presión, tratan sobre la oscilación diurna y anual de la humedad, aderezado con diversas noticias como la que se refiere a la aguja de Cleopatra, obelisco perfectamente conservado durante milenios en el extremadamente seco clima egipcio, que tras su traslado y ubicación en Londres, junto al Támesis, había comenzado a degradarse rápidamente por culpa de la humedad ambiente.

El apartado V está dedicado a la precipitación, que según Arcimis es el paso del vapor de agua al estado líquido o sólido. Efectivamente este era el sentido originario del término, que posteriormente ha evolucionado para definir la caída a tierra de agua en estado sólido o líquido, si bien hay que decir que el modo en que lo usa Arcimis proviene de una mala interpretación histórica al menos un siglo anterior a nuestro autor, pues un precipitado en química es el residuo sólido que proviene de una reacción de distintos elementos en una disolución que dan lugar a otro insoluble, lo que no es el caso que nos ocupa, pues no se produce ninguna reacción química, tan solo un cambio de estado. Aún así, la diferencia entre el modo en que Arcimis usa el término y la actual es notable, pues dice que “*la precipitación se efectúa en diversas formas [...] así tenemos el rocío y la escarcha, la niebla y las nubes, la lluvia y la nieve, el granizo y la piedra*”. Hoy en día hablaríamos más bien de “tipos de precipitación”, no de “diversas formas en las que se efectúa” y no incluiríamos a las nubes. Como causas de la precipitación menciona las corrientes ascendentes del aire (debido al calentamiento del suelo, el ascenso orográfico o “*el movimiento en forma de espiral del aire alrededor de un mínimo barométrico*”), la mezcla de masas de aire desigualmente calentadas y el enfriamiento del aire en contacto con el suelo. A continuación describe las distintas formas en que se produce la precipitación mencionadas antes, de modo bastante detallado y aderezado de noticias de diversos lugares del mundo, desde el Congo hasta Terranova. Trata primeramente del rocío, la escarcha, la helada y la niebla, para pasar a continuación a describir las nubes, que define como “*nieblas vistas desde fuera y á distancia*”.

En la clasificación de las nubes sigue nuestro autor, como no podía ser de otra forma, la establecida por el inglés Luke Howard (1772-1864) casi exactamente un siglo antes, en 1803, en su obra ilustrada por él mismo *On the Modifications of Clouds*, que con algunas pequeñas aportaciones posteriores había sido adoptada en 1891 como oficial durante el Congreso Meteorológico Internacional de Munich y que apenas ha sufrido cambios desde entonces. A dicha conferencia había asistido el propio Arcimis, por cierto, a pesar de que en esos momentos no era director del Instituto Central Meteorológico, que oficialmente había dejado de existir, lo cual es una muestra más del interés que tenía nuestro sabio gaditano por estas cuestiones. La descripción de las clases de nubes viene acompañada de unos grabados de muy baja calidad, sobre todo si los comparamos con las exquisitas ilustraciones del libro de Howard o con las preciosas láminas del *Atlas Internacional de Nubes*, publicado a raíz del mencionado congreso, que nombró una comisión a tal efecto



integrada por los meteorólogos Hildebrandsson, Riggenbach y Teisserenc de Bort, y editado por vez primera en 1896. Como curiosidad, afirma que los altocúmulos también son conocidos como cúmulo-cirros y los altoestratos como estrato-cirros, y menciona los nombres con que los marinos españoles conocen a los distintos tipos de nubes: *colas de gato* y *rabos de gallo* los cirros; *correos* lo que ahora llamamos fractoestratos o fractocúmulos, y que en el *Atlas de Nubes* original, serían los fracto-nimbos, pues los describe como “*nubes sueltas oscuras, que pasan con gran rapidez*” por debajo de los altoestratos, anunciando lluvia (de lo que posiblemente venga el nombre de *correos*); *balas de algodón* los cúmulos, *gigantones* si son de mayor tamaño (o sea, los *cúmulos congestus*); y finalmente, *bardas* o *cejas* los estratos. En el cuadro clasificatorio que aparece al final de este apartado asigna a cúmulos y cúmulo-nimbos una altura máxima de 5.000 metros, claramente errónea. Si comparamos con el capítulo correspondiente del *Traité de Météorologie* de Angot (pp.

200-209) vemos que la altura media que asigna el francés a la cima de esas nubes es aún más baja, 2670 m a los cúmulo-nimbos y 2020 m a los cúmulos. Podemos observar también que, aunque el orden en la descripción de los diez tipos de nubes es el mismo, Angot se ajusta bastante a las definiciones oficiales establecidas por el Congreso de Munich y fijadas en el *Atlas de Nubes*, mientras que las descripciones de Arcimis son, por decirlo así, mucho más “de andar por casa”, pero indudablemente adaptadas del meteorólogo francés. Veamos por ejemplo el caso de los cúmulo-nimbos, en los que según el francés “*souvent les protubérances élevées des cumulo-nimbus s’entourent d’un voile o d’un écran, de texture fibreuse, que l’on appelle quelquefois faux cirrus, bien que rien ne paraisse les distinguer des cirrus véritables*”, mientras que para Arcimis estas nubes “*cuando están bien desarrolladas, ofrecen á la vista, por encima, una capa de cirros ó de cirro-estratos, falsos, pues flotan á una altura de 3.000 metros poco más ó menos, y más arriba de estos falsos cirros, se ven á veces los cirros verdaderos*”.

El siguiente apartado de este capítulo trata de la “nublosidad” o cantidad de nubes, aunque por la estructura del capítulo debería estar incluido en el apartado de las nubes. Esta incoherencia se debe sin duda a que Arcimis sigue en ocasiones la estructura de la *Météorology* de Angot y en otras no. Podemos observar en ambos textos que entonces la porción de cielo cubierto se medía en décimas partes, no en octas. Se menciona la distribución de la nublosidad en el mundo, su variación diurna y anual y el instrumento para medirla, el helio-fanógrafo o simplemente heliógrafo, todavía hoy en uso, siguiendo en todo momento el manual del francés.

Viene luego el apartado dedicado a la lluvia, a su medición y a su distribución a lo largo y ancho del planeta. Hace mención Arcimis al “*corsario y casi pirata Dampier á quien tantas observaciones debe la Ciencia, que desembarcando casualmente en una isla, trataron de tomar chocolate, y que era tal el ímpetu con que caía la lluvia, que no tenían tiempo de llevarse las calabacitas a los labios, sin que se llenasen hasta la mitad de agua, echando á perder el sabroso alimento*”. Dejando aparte la anécdota, ¿quién era este corsario Dampier y cuáles fueron sus aportaciones a la Ciencia? La siempre socorrida Wikipedia nos permite conocer a William Dampier (1652-1715), marino inglés, en ocasiones corsario o bucanero, tal y como lo presenta Arcimis, explorador de Australia y Nueva Guinea, naturalista y escritor, que circunnavegó el mundo al menos dos veces observando y anotando todo lo que veía, apuntes que sirvieron posteriormente a Darwin y a von Humboldt en sus investigaciones, y que al parecer inspiró a Jonathan Swift el personaje de Gulliver. Todo un personaje no demasiado conocido, aunque sí por Arcimis, que vuelve a citarle más adelante a propósito de las alternancia de estaciones lluviosas y secas en la zona tórrida, “*hecho observado ya por Dampier, que lo describe en los términos siguientes...*”.



Fig. 18. — Cristales de nieve.

Termina el quinto capítulo con los apartados dedicados a la nieve y al granizo y la piedra. En el primero incluye una ilustración de cristales de nieve cuyo origen, aunque no está acreditado, es inconfundible. Se trata sin la menor duda de una reproducción de algunas de las fotografías tomadas por el granjero norteamericano Wilson Bentley (1865-1931), pionero de la microfotografía, que dedicó 40 inviernos de su vida a fotografiar copos de nieve, sin llegar a encontrar nunca dos exactamente iguales entre los aproximadamente 5.000 que pasaron por su objetivo. En la época en la que Arcimis escribió su pequeña obra,

Wilson Bentley, conocido por el apodo de “Snowflake”, llevaba ya más de 15 dedicado a su labor, y sus fotografías eran bien conocidas en todo el mundo. En 1931, poco antes de morir, publicó su libro *Snow Crystals*, con más de 2400 fotografías y que tuvo una gran difusión⁹.

A propósito de la clasificación de los cristales de nieve, menciona Arcimis al ballenero Scoresby “*á quien se deben tan importantes observaciones polares*”. La nunca bien ponderada Wikipedia nos permite conocer a otro interesante personaje relacionado con la ciencia meteorológica, el explorador de las regiones árticas, empresario ballenero, científico y clérigo inglés William Scoresby (1789-1857), que cartografió parte de las costas de Groenlandia y llevó a cabo estudios sobre el magnetismo terrestre entre otras variadas cuestiones, como la de la forma de los copos de nieve que menciona Arcimis.

Termina el apartado sobre la nieve mencionando la posibilidad de producirla “*por medios artificiales, si en ello hubiera interés*” y rematándolo con una de esas anécdotas tan del gusto de nuestro autor sobre un baile celebrado en Rusia, durante el que, para paliar el excesivo calor, “*se abrieron las ventanas para renovar el aire, que en el exterior estaba á muchos grados bajo cero, y, al penetrar en las salas, precipitó el vapor de agua, produciendo una nevada, con gran asombro de los circunstantes*”.

El último apartado de este largo capítulo está dedicado al granizo y a la piedra, y aparte de las noticias truculentas que no podían faltar, explica Arcimis una teoría sobre la formación del granizo bastante correcta, pero que a él le parece dudosa, pues no se explica cómo las desordenadas corrientes ascendentes pueden soportar tanto tiempo las enormes piedras de hielo que se forman en ocasiones. Y finaliza explicando las campañas antigranizo que tenían lugar en Francia e Italia, con morteros provistos de un gran embudo que lanzaban pólvora a las nubes que amenazaban con descargar granizo. Al respecto observa que “*este bombardeo aéreo cuenta con partidarios ardientes y entusiastas [...] pero los hombres científicos distan mucho de hallarse convencidos de la eficacia del procedimiento*”. Otra cosa que no ha cambiado mucho en los últimos cien años.

El sexto capítulo de la *Meteorología* de Arcimis está dedicado al viento, veintiséis páginas bajo el título de “El movimiento del aire”. Tras las definiciones correspondientes y la explicación de los rumbos y la rosa de los vientos, cita Arcimis el nombre de algunos de ellos y pasa a su tema favorito, los instrumentos para su medición. Hablando de la veleta, menciona la Torre de los Vientos de Atenas, del siglo I a. C., sobre la que previamente había escrito un artículo de divulgación¹⁰. A continuación, viene la descripción de los vientos a lo largo y ancho de la Tierra, siguiendo la división habitual de constantes, periódicos y variables, dejando los locales para más adelante. Entre los primeros, y tras mencionar las calmas ecuatoriales, empieza tratando de los alisios, descubiertos por Colón en su primera travesía atlántica. Afirma que la teoría que los explica se debe al “*astrónomo inglés Halley, quien estableció sus primeros fundamentos, que trabajos posteriores han modificado y perfeccionado*”. Esto es, en gran medida, erróneo, pero de un modo bastante habitual. Efectivamente, el gran astrónomo inglés Edmund Halley (1656-1742) aportó a finales del siglo XVII una explicación acerca de los vientos alisios¹¹ que si bien era totalmente errónea, pues no tenía en cuenta la rotación de la Tierra y consideraba como única causa el calentamiento solar de la atmósfera y su desplazamiento hacia el oeste a lo largo del día, que haría que los vientos siguieran al sol,

⁹ Se puede obtener más información acerca de “Snowflake” Bentley y su obra en la página web www.snowflake.com

¹⁰ Arcimis, A.: “La Torre de los Vientos”. En *La Ilustración Española y Americana*, Año XLI, nº 38, octubre 1897 (disponible en www.divulgameteo.es)

¹¹ Halley, E.: “An historical account of the Trade Winds, and Monsoons, observable in the Seas between and near the Tropicks, with an attempt to assign the Physical cause to the said Winds”. En *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 16 (1686)

debido al prestigio de su autor tuvo un gran éxito y fue la que imperó durante los siguientes ciento cincuenta años, ensombreciendo la mucho mejor explicación del casi homónimo y mucho menos famoso George Hadley, cuya teoría, cincuenta años posterior a de Halley¹², basada en la conservación del momento lineal de las partículas en su desplazamiento norte-sur y en la existencia de células cerradas de circulación en ambos hemisferios, es la que posteriormente fue perfeccionada por Ferrel en los años 50 del siglo XIX y que Arcimis debía conocer, aunque no lo mencione, como se demuestra a continuación en la somera descripción que hace de la circulación atmosférica en las regiones subtropicales.

Entre los vientos periódicos, menciona en primer lugar a los monzones o “las” monzones, como él escribe, tema al que ya había dedicado un artículo divulgativo¹³. Al igual que en el artículo mencionado establece un paralelismo entre el régimen monzónico propiamente dicho, que es el del subcontinente indio, y el que se establece en la Península Ibérica debido a lo que ahora conocemos como baja térmica peninsular. Otros vientos periódicos serían los “*terrales y virazones, y las brisas de los montes, que los campesinos llaman mareas*”. En cuanto a los vientos variables, habituales de las zonas templadas, le dan pie para introducir la meteorología sinóptica. Menciona aquí que el “*famoso meteorologista alemán, Dove, cuyos inmensos trabajos van destruyendo poco á poco las investigaciones modernas, trataba de explicar los accidentes climatológicos, suponiendo que todos los vientos se originaban de los alisios y contraalisios, que él llamaba corriente polar y corriente ecuatorial, denominación que subsiste todavía, y es usada por todos los hombres científicos, menos por los meteorologistas, corrientes que se acercaban al suelo ó se elevaban, según las circunstancias*”.

Esta última información es de gran interés para hacernos a la idea de las teorías imperantes en meteorología dinámica y sinóptica en la época de Arcimis que, si bien no era experto en dichas cuestiones, sí que demuestra estar bastante bien informado del estado de la cuestión. Así pues, detengámonos un momento en el “meteorologista” alemán Dove y su teoría de las corrientes polar y ecuatorial.

Heinrich Wilhelm Dove (1804-1879) fue, junto con su casi homónimo paisano Heinrich Wilhelm Brandes (1777-1834), la más prominente figura de la meteorología europea y mundial de la primera mitad del siglo XIX. A Brandes se le considera el padre de la meteorología sinóptica, mientras que Dove, discípulo suyo, que publicó más de 300 artículos, no sólo de meteorología sino de física experimental, especialmente óptica y electromagnetismo, y que fue director del primer servicio meteorológico del mundo, el prusiano, entre 1858 y 1877, era considerado por sus coetáneos el más grande meteorólogo de su época. Su influencia en los debates sobre meteorología era casi dictatorial, por lo que algunas de sus ideas menos afortunadas tuvieron una vida quizá algo más larga de lo debido, tal y como nos informa Arcimis a propósito de “las corrientes polares y ecuatoriales”.

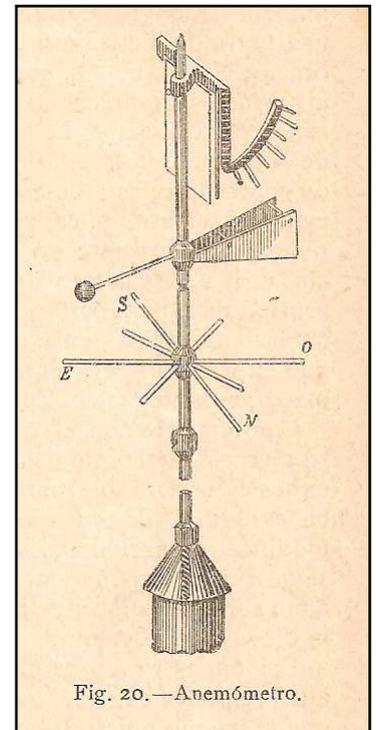
Como decíamos arriba, hacia 1820 Brandes había propuesto el uso del método sinóptico, tal y como lo conocemos ahora, pero la falta de procedimientos adecuados de transmisión de los datos (aún faltaban más de 20 años para la invención del telégrafo) y los buenos resultados obtenidos por Dove por su método local unos pocos años después, hicieron que el sinóptico fuera temporalmente relegado. El método local de Dove parte de un enfoque lagrangiano, es decir, del seguimiento de las partículas de aire en su movimiento, así como el sinóptico de Brandes usa el enfoque euleriano, manteniendo fijas las coordenadas espaciales y observando la evolución temporal. Dove dedujo a partir de sus observaciones la existencia de las que llamó “corriente polar”, fría y del NE, y

¹² Hadley, G.: “On the cause of the general Trade Winds”. En *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 34 (1735)

¹³ Arcimis, A.: “Las monzones”. En *La Ilustración Española y Americana*. Año XL, nº 20, mayo 1896 (disponible en www.divulgameteo.es)

“corriente ecuatorial”, cálida y del SW. Dichas corrientes eran una extensión de las ideas de Hadley, reivindicadas por Dove entre otros, acerca de los alisios, contraalisios y la circulación atmosférica general, y su permanente confrontación era la causa de las perturbaciones habitualmente observadas en las latitudes medias. Las ideas de Dove, sobre las que volveremos con más detalle al final del artículo, comenzaron a ser superadas lentamente a partir de la invención del telégrafo en 1845, lo que permitió al francés Urbain Leverrier (1811-1877) y a los ingleses Robert Fitz-Roy (1805-1865), Napier Shaw (1854-1945) y Francis Galton (1822-1911) retomar el método sinóptico de Brandes, ante la tenaz oposición del alemán, cuyas ideas acabaron simbolizando el dogmatismo intransigente en materia meteorológica, tal y como sugiere el texto de Arcimis¹⁴. A pesar de todo, el estudio de las líneas de corriente preconizado por Dove resultó clave en la gestación de las teorías de la Escuela de Bergen, que en los tiempos en que Arcimis redactó su manual había empezado a dar sus primeros pasos con la llegada del joven profesor noruego Wilhelm Bjerknes (1862-1951) a la Universidad de Estocolmo. Evidentemente Arcimis, fallecido en 1910, no pudo llegar a tener conocimiento de las teorías de la Escuela Noruega acerca del frente polar, gestadas durante los años de la Primera Guerra Mundial y divulgadas a partir de 1921, muy lentamente y con muchas resistencias, por cierto, tanto que hasta bien avanzados los años 30 no empezaron a dibujarse frentes en los mapas meteorológicos. Concretamente el Meteorological Office los introdujo en 1933, el U.S. Weather Bureau en 1938, y el Servicio Meteorológico Español después de la Guerra Civil.

Tras esta breve incursión en la meteorología dinámica, vuelve nuestro autor a su tema predilecto a propósito de la velocidad del viento y su medición: los instrumentos de medida. Describe dos diversos tipos de anemómetros, el de presión (ver figura), del que dice que “*se emplea mucho en toda la Europa Central y en Prusia*” y el de cazoletas o de Robinson, el usado en España. Menciona también dos escalas de observación del viento, una terrestre, que es la de Beaufort simplificada con sólo seis grados (calma, flojo, bonancible, fuerte, muy fuerte, temporal y huracán) y otra marítima, en la que a los grados 0 a 12 les corresponden condiciones de navegación que van desde “sin gobierno” hasta “sin poder regir vela”, pasando por otras tales como “gavias en un rizo y juanetes”, “gavias en todos los rizos” o “mayores arriadas”. Muy probablemente esta es la escala de Beaufort original, de inicios del siglo XIX, que no tenía valores numéricos de velocidad aunque aquí sí que aparecen. Resulta extraño que Arcimis, tan aficionado a esas cuestiones, incluya ambas tablas sin mencionar siquiera el nombre del almirante Francis Beaufort.



Tras tratar brevemente las variaciones diurnas del viento, pasa nuestro autor a describir algunos vientos locales notables, comenzando por los *etesios*, vientos que soplan del norte en el Mediterráneo mencionados por los autores antiguos griegos y romanos, el *Mistral* de la Provenza, el *Chamsin* de Egipto, el *Harmattan* de las costas de Guinea y Senegambia, el *Simún* del norte de África, el *Leste* de las Canarias, el *Scirocco* de Sicilia, el *Leveche* que sopla en el sureste español, y el *foehn*, llamado *favonio* por los romanos. De este último dice que se da en todas las regiones montañosas del mundo, por lo que usa el nombre como genérico (de ahí que lo escriba con minúscula, lo mismo que *etesios*), aunque a continuación describe con detalle y de modo algo novelesco el modo en que se manifiesta el de los Alpes. Es en estos pasajes en los que en los que se nos muestra el mejor Arcimis, curioso, erudito y de amena

¹⁴ Para toda esta cuestión acerca de las ideas de W. H. Dove y su influencia en la meteorología de su época y posterior, ver Puigcerver, M. “La Escuela Noruega: una ojeada retrospectiva”. *Acta Geológica Hispánica*, T. 14, pp. 54-59

pluma. También la descripción del mecanismo de formación del foehn, a la par que correcta, aparece clara y concisa.

Llegamos al séptimo capítulo, diecinueve páginas dedicadas a los fenómenos eléctricos en la atmósfera. Tras una brevísima introducción en la que nuestro autor deja las cuestiones teóricas rápidamente a un lado (“*todavía no sabemos cuál es el origen de la electricidad atmosférica, que se atribuye á corrientes de calor, á la condensación del vapor de agua, al rozamiento del aire, etc.; pero ninguna de estas varias hipótesis se ha comprobado de modo satisfactorio*”) y el consabido anecdotario que incluye una mención a los experimentos de Franklin y a la suerte que tuvo de no electrocutarse, cosa que sí le ocurrió a un físico de San Petersburgo¹⁵, pasamos enseguida a la descripción de los aparatos para medir la electricidad, los electrómetros, mencionando los de Peltier (ver figura), Thomson y Mascart y describiendo el primero de ellos.

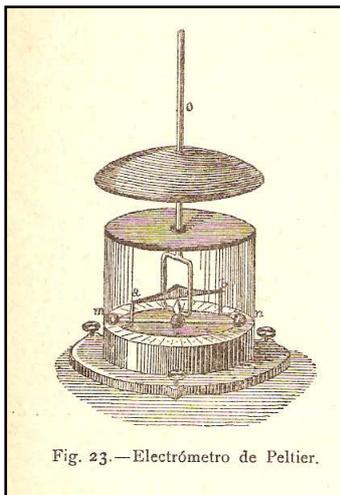


Fig. 23.—Electrómetro de Peltier.

Tras la breve introducción, el primer apartado de este capítulo está dedicado a las tormentas. En la descripción de las nubes de tormenta les asigna una altura media de 1.500 metros, extrañamente baja, y no cabe duda de que habla de cumulonimbos, pues dice que “*antes de empezar la tormenta, la parte superior del cúmulo se ensancha y toma un aspecto semejante al de una bigornia*”. O sea, un yunque. Ya vimos en el capítulo sobre las nubes cómo a los cumulonimbos les daba una altura máxima de entre 3.000 y 5.000 metros, y que en el tratado de Angot se les daba una altura aún menor. Aunque aún no fuera conocida la alta atmósfera resulta extraño el error, pues no es un problema difícil calcular la altura de las nubes de desarrollo vertical usando sencillos instrumentos perfectamente al alcance de cualquier estudioso de la época.

A continuación trata sobre los relámpagos, que clasifica de modo bastante curioso en lineales, difusos y globulares. Los lineales “*ó en zig-zag, como se llaman en el extranjero, son perfectamente comparables con las chispas que se obtienen de las máquinas eléctricas*”, los segundos serían el reflejo de los primeros cuando tienen lugar a mucha distancia, y de los últimos duda de la realidad de su existencia, dudas que a día de hoy persisten entre la comunidad científica. Dice también que los relámpagos recorren en un segundo cerca de 500.000 kilómetros, pero esto es sin duda una errata, puesto que en siguiente apartado, sobre los truenos, dice que la velocidad de la luz es de 75.000 leguas por segundo, siendo la legua empleada por Arcimis de 4 km, según vimos al tratar de las dimensiones de la Tierra. Notemos aquí que, como norma general, nuestro autor utiliza el sistema métrico decimal, siendo muy contadas las ocasiones en que recurre a unidades de medida de otros sistemas, si bien esta legua métrica que emplea parece ser un híbrido entre el sistema tradicional y el métrico, pues la legua, como todas las medidas antiguas, no representaba la misma distancia en todas partes, variando entre poco más de 4 y cerca de 6 kilómetros, según países, regiones y hasta provincias. Sobre los rayos o descargas que caen en tierra se explaya con numerosas anécdotas, incluyendo el fenómeno conocido como “choque de rechazo” que describe del modo siguiente: “*cuando una nube tormentosa se halla a cierta distancia conveniente de un individuo,*

¹⁵ Gracias a San Google y con tan sólo introducir los términos “físico San Petersburgo electrocutado” podemos averiguar en pocos segundos que se trata de “Georg Wilhelm Richman (1711-1753†), físico de la Academia Imperial de Ciencias de San Petersburgo. Tras la publicación de los escritos de Benjamin Franklin se dedicó al estudio de la electricidad atmosférica. Mientras trataba de reproducir los experimentos de Franklin con la cometa, falleció electrocutado por una descarga en 1753. Joseph Priestley, en su temprana historia de la electricidad de 1767, le canonizó como el primer mártir de la ciencia eléctrica al escribir: “No todo electricista puede morir de manera tan gloriosa como el justamente envidiado Richmann” (“Formas de morir extrañas”, artículo publicado en la página web <http://dlado.com>)

obra por influencia sobre la electricidad de su cuerpo. Atrayendo hacia la parte superior la de nombre contrario, y rechazando hacia los pies la del mismo nombre; si de la nube, por exceso de tensión, parte una chispa, cesa la diferencia de potencial instantánea, y cesa, por lo tanto, con igual rapidez, la influencia que ejercía sobre la electricidad del individuo, que reconstituyéndose y neutralizándose en el interior de su cuerpo, produce una descarga o rayo interno, digámoslo así, y le ocasiona la muerte". Desconozco la veracidad de la información suministrada por Arcimis, que quizá pudo encontrarla en el *Tratado de elemental de física* del francés Cesar Despretz (1771-1863), publicado en 1827 y traducido al español en 1839, pues la descripción que se encuentra en ese manual es muy similar a la que aporta Arcimis, aunque con un lenguaje algo más arcaico: "*sea una persona colocada en E a una distancia bastante pequeña de la nube para que se verifique la descomposición del fluido natural de sus órganos...*". Sea como sea, la expresión "choque de rechazo" y la original francesa "choc de retour" se utilizan hoy en día dentro del campo de las pseudociencias esotéricas, que es a lo que suena el relato arcimiano.

Respecto a los pararrayos, también aporta algunas noticias y comentarios curiosos, como que para defenderse de los rayos "*el preservativo ideal sería vestirse una armadura de guerrero de la Edad Media y meter los pies en un arroyo*".

Finaliza el capítulo sobre la electricidad atmosférica con una descripción detallada de las auroras polares que muestra la fascinación que Arcimis sentía por tan bello fenómeno, a medio camino entre la astronomía y la meteorología, a pesar de que probablemente no tuvo nunca oportunidad de contemplarlo.

El octavo y penúltimo capítulo trata a lo largo de trece páginas sobre los fenómenos ópticos en la atmósfera. Empieza afirmando que "*es sabido que el cielo, el empíreo, tal y como lo entendían los antiguos, no existe, y que la frase de abrirse los cielos no tiene sentido, pues esa bóveda azul que por todas partes rodea la Tierra, es transparente y no puede abrirse ni cerrarse*", pero tras esa afirmación, con la que quizá pretendía combatir alguna creencia aún existente en sus tiempos, nos sorprende afirmando que el aire dispersa la luz solar "*según un cierto número de vibraciones del éter*". Es bien conocido que la existencia del éter, no en el sentido que se le daba en la Antigüedad como quintaesencia que conformaba el mundo supralunar, sino en el que se le dio en el marco de las teorías electromagnéticas del siglo XIX como medio muy tenue por el que se propaga la luz y demás radiaciones, había sido refutada por el experimento de Michelson y Morley de 1887, que sentaron la base para la Teoría Especial de la Relatividad. Pero la mención del éter por parte de Arcimis nos permite suponer que quince años después de aquel experimento aún no había una aceptación plena de sus resultados, quizá de difícil digestión. Si buscamos en los manuales meteorológicos que estamos usando como referencia, vemos que Davis, en su *Elementary Meteorology*, siete años posterior al experimento de Michelson y Morley, opta por no pronunciarse al respecto¹⁶, mientras que Argot, en su *Traité*, no hace ninguna mención al respecto, al menos en el capítulo correspondiente a los fenómenos ópticos, que como de costumbre sigue Arcimis en gran medida.

La lista de fenómenos ópticos descritos incluye el arco iris, las coronas, halos, parhelios y paraselenes, además de los poco frecuentes y no mencionados por Argot, círculo de Ulloa y espectro del Brocken, del que dice correctamente que es un fenómeno subjetivo, como el del arco iris, y que a pesar de su nombre se puede observar en otras montañas, en ascensiones en globo, e incluso el "*famoso ballenero Scoresby lo observó desde el palo de su buque, hallándose en los mares boreales*". Menciona también las glorias, relacionadas con los fenómenos anteriores, y los

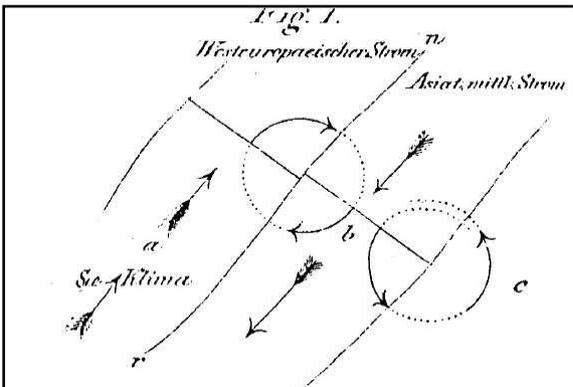
¹⁶ "Whether the hypothetical medium be named the luminiferous ether, or whether it takes a name from its property of propagating electro-magnetic disturbances, this matters nothing to us now", W. M. Davis, *Elementary Meteorology*, p. 17.

espejismos, de los que dice que es posible verlos en España en las cercanías de Lebrija, municipio sevillano enclavado dentro de las marismas del Guadalquivir.

Llegamos ya al último capítulo de la *Meteorología* de Arcimis, titulado simplemente “El tiempo”, que consta de veintiséis páginas. Por ser del máximo interés para nuestro propósito, el estado de los conocimientos meteorológicos de la época vistos a través del manual que escribió el que fue primer director de los servicios meteorológicos españoles, dedicaremos a este capítulo un poco más de atención que a los anteriores, más centrados en cuestiones de observación y en otras accesorias que en las propias de la teoría meteorológica.

Comienza nuestro autor diciendo que “entre los elementos meteorológicos existe, por lo general, una cierta correlación que, en definitiva, viene á caracterizar el tiempo”. De nuevo menciona la teoría de las corrientes polares y ecuatoriales, cuyo paladín ya vimos que fue el alemán Heinrich Wilhelm Dove, aportando ahora algunos datos más sobre esta ella:

“Como el mal tiempo, el tiempo de lluvias, procedía casi siempre del tercer cuadrante, y el buen tiempo del opuesto, y los vientos giraban en el sentido en que el Sol camina, á saber: que el N. pasaba al NE., al E., al SE. y al S. para llegar al SO., en vez de hacerlo por el NO. y O., la mayor parte de las veces, se originó la teoría de las corrientes ecuatoriales y polares, para explicar estos fenómenos; teoría que, defendida por hombres de gran mérito, ha impedido el progreso de la meteorología por espacio de muchos años”



Efectivamente, Dove, que desde los 18 años era discípulo de Brandes en la Universidad de Breslau, a la que inicialmente acudió a estudiar filología, cuando sólo tenía 22 años, presentó ante la comunidad científica la que fue conocida posteriormente como “Ley de Giro” (“Drehungsgesetz”)¹⁷. Su fundamento era una serie de observaciones que realizó Dove entre septiembre y octubre de 1826 correlacionando presión, temperatura, viento y estado general del cielo, que le llevaron a concluir que el giro del viento en el sentido horario (“veering”), tal y como nos explica

Arcimis, estaría relacionado con el mal tiempo, mientras que el antihorario (“backing”) lo estaría con la llegada del buen tiempo. No se apercibió Dove de que esto era consecuencia del paso de borrascas y anticiclones sucesivos por las latitudes medias, y que dependiendo de la posición del observador podría observarse lo contrario, que es lo que sucede habitualmente en los países nórdicos, y pretendió deducir de sus observaciones una ley universal. Dove concluía primeramente que todos los vientos, al menos en Europa, eran consecuencia de remolinos giratorios (ver figura), formados en las zonas de contacto entre unas corrientes cálida, del SW, y fría, del NE. Posteriormente hizo extensivo su modelo a todo el globo, con ayuda del modelo de circulación de Hadley que había sido recuperado unas décadas antes por John Dalton (1766-1844) e Inmanuel Kant (1724-1804), a pesar de que no contaba apenas con observaciones del Hemisferio Sur y de que muchas de las que había del Hemisferio Norte contradecían su modelo.

De modo muy simplificado, el modelo de circulación de Dove establecía que las corrientes polar, inicialmente del N, y ecuatorial, originalmente del S, se desviaban respectivamente hacia el NE y SW por efecto de la rotación de la Tierra, siguiendo las ideas de Hadley. En las zonas

¹⁷ Dove, H.W.: “Einige meteorologische Untersuchungen über den Wind”. *Annalen der Physik* 11, 1827, pp. 545-590.

templadas y posiblemente también en las frías, debido a la confrontación permanente entre ambas corrientes, se producirían giros del viento en el sentido descrito más arriba, con una periodicidad más o menos regular, de días o semanas, cuya consecuencia serían los cambios observados en el estado del tiempo. En las tropicales no se produciría más efecto sobre el viento que un giro parcial en la dirección indicada salvo en el caso del régimen monzónico de la India, en la que se produciría un único giro al año¹⁸.

Volviendo con el manual de Arcimis, tras esta última mención a Dove, al mérito que tuvo inicialmente y al lastre que supuso finalmente, pasa a describir someramente el método sinóptico, que como ya vimos había sido propuesto inicialmente por Brandes, maestro de Dove, pero que no pudo aplicarse debidamente hasta la invención del telégrafo, ya mediado el siglo XIX, y del que dice nuestro autor que *“se llama sinóptico, en oposición al de las medias, y sus resultados han sido excelentes, pues ha dado origen á la fundación de la Meteorología dinámica”*.

Explica en primer lugar la regla del “meteorologista holandés” Buys-Ballot (1817-1890) sobre la dirección del viento en relación con el campo de presión, y hace aquí un curioso comentario sobre que *“se ha establecido un sistema internacional, para que las diferencias de presión se expresen en gradients, palabra inglesa que significa pendiente, en lenguaje de ingeniería, y cuyo uso se ha extendido á todos los países; las unidades elegidas son 1 mm. para el barómetro y 1° geográfico ó 111 Km. para la distancia”*. La interpretación incorrecta por parte de Arcimis del concepto de “gradiente” se deriva sin duda de una mala lectura del manual de Angot, que en su página 113 dice que *« on nomme alors gradient barométrique la diminution de pression (exprimée en millimètres) que l'on observe entre deux points tels que A et B situés a la unité de distance, et, pour avoir a la pratique des nombres convenables, ni trop grands, ni trop petits, on prendre comme unité de distance la longueur d'un arc de 1° de la sphère terrestre, soit 111^{km}, 111. On obtiendra donc le gradient barométrique entre deux points en divisant la différence des pression observés en ceux deux points par leur distance »*. Sin duda a nuestro despistado sabio se le pasó leer el final del párrafo.

Pero salvo este despiste, Arcimis muestra una comprensión bastante correcta de las ideas imperantes en su tiempo en Meteorología sinóptica a lo largo del apartado sobre “sistemas ciclónico y anticiclónico”, si bien hace aquí una de sus típicas observaciones eruditas, afirmando que puesto que “ciclón” viene de una palabra griega que significa “círculo”, el nombre de “anticiclón” estaría bastante mal elegido (ya que significaría “anticírculo”, aunque eso no lo dice). De gran interés son los ejemplos que usa para ilustrar ambos conceptos, uno correspondiente a la situación del 7 de febrero de 1901, ilustrando una borrasca (arriba) y otro a la del 19 de enero del mismo año, mostrando un anticiclón (abajo), ilustraciones que nos permiten afinar un poco más la fecha de redacción del libro. El área representada se corresponde con la incluida en el boletín del Instituto Central Meteorológico, publicado ininterrumpidamente desde el 1 de marzo de 1893, aunque algo más extensa, sobre todo por el lado del Atlántico, que incluye hasta un poco más allá de las Azores. Notemos la escasez de datos disponible, una veintena de estaciones en la España peninsular y dos en Baleares, tres en el Portugal peninsular (Lisboa, Oporto y Lagos), más dos en Azores y otra en Madeira, cinco estaciones en Francia (en el primer mapa hay datos de tres, pero en el segundo de ninguna) y otras tres en el norte del África entonces franco-española, Melilla, Orán y Argel. Con tan escasa información se elaboraba en el Instituto Central Meteorológico, dirigido por Arcimis, un sencillo mapa sinóptico, con las isobaras trazadas de 1 mm en 1 mm, que servía de base para una tímida predicción para el día siguiente. No hay duda de que si algo ha cambiado radicalmente en el

¹⁸ Para más detalles, ver Carramolino, D.: “La Ley de Giro (Drehungsgesetz) de Dove, y el nacimiento de la dinámica atmosférica en Alemania”. En <http://e-espacio.uned.es>

último siglo es la cantidad de información disponible, en el campo de la Meteorología como en cualquier otro, pasando de frustrante por escaso a lo frustrante por abrumador. Manteniendo, eso sí, la frustración como invariante, no necesariamente meteorológico.

La red de estaciones que vemos representada en estos mapas no era propiedad en ningún aspecto del Instituto Central Meteorológico, que se limitaba a concentrarla, en competencia además con el vecino Observatorio Astronómico situado a apenas unos cientos de metros dentro del mismo parque madrileño del Retiro, del que dependían técnicamente. Pocos años después, a partir del 1 de enero 1906, el Instituto Meteorológico pasó a ser el único responsable de la información recogida en los observatorios, pero aún pasarían muchos años hasta que los servicios meteorológicos españoles contaran con una red propia de observatorios que cubrieran adecuadamente el territorio nacional, labor en la que tuvo un papel importantísimo el sucesor de Arcimis, José Galbis, director de la meteorología española entre 1910 y 1921. Red de observatorios que, por cierto, está siendo tristemente descuidada durante los últimos años, en gran parte debido a la escasez de personal del antiguo Instituto Nacional y ahora Agencia Estatal de Meteorología.

Por entonces la mayoría de los observatorios estaban atendidos por catedráticos y auxiliares de universidad o de institutos de segunda enseñanza, y ubicados en las dependencias correspondientes. Podemos ver (en el original y con ayuda de una lupa, claro está) cómo la red de estaciones españolas incluía a las que por entonces eran las principales capitales de provincia y otras ciudades importantes: La Coruña, Orense, Pontevedra, Santiago de Compostela, Oviedo, Santander, San Sebastián, Bilbao, Barcelona, Tarragona, Zaragoza, Burgos, Soria, Valladolid, Segovia, Teruel, Madrid, Albacete, Valencia, Alicante, Badajoz, Murcia, Sevilla, Granada, Málaga, Almería, Palma de Mallorca y Mahón, además de algunas dudosas, quizá El Ferrol, El Escorial y Águilas. Además aparecen Tarifa y San Fernando, en cuyo Real Observatorio de la Armada se venían realizando observaciones meteorológicas desde principios del siglo XIX, y que al haber mantenido la continuidad desde entonces, cuenta con la serie más larga de todas las de España.

Finaliza el apartado sobre los sistemas ciclónico y anticiclónico con una observación que nos da una buena idea de por donde iban las teorías al respecto en estos años del cambio de siglo XIX al XX: “se supone, aunque no está demostrado, que el viento afluje al centro de un ciclón, y que allí se eleva, dirigiéndose por las capas superiores de la atmósfera, al anticiclón, por el cual desciende divergiendo, hacia la superficie de la tierra”.

El segundo apartado de este capítulo está dedicado al origen y marcha de los ciclones, comenzando por los tropicales, de los que describe su trayectoria y dice acertadamente que no se han observado en el ecuador ni se conoce que alguno haya atravesado esa imaginaria línea, mencionando

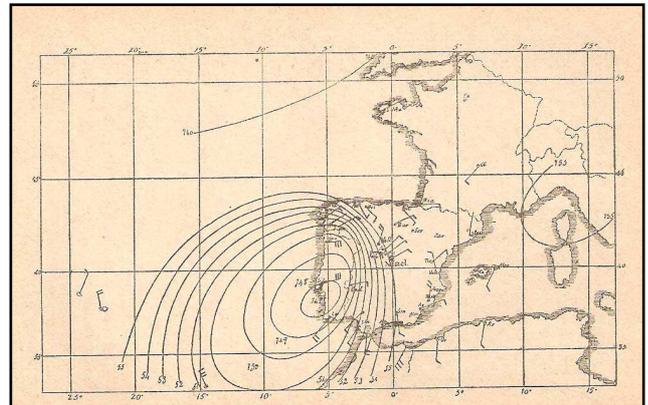


Fig. 35.—Sistema ciclónico.

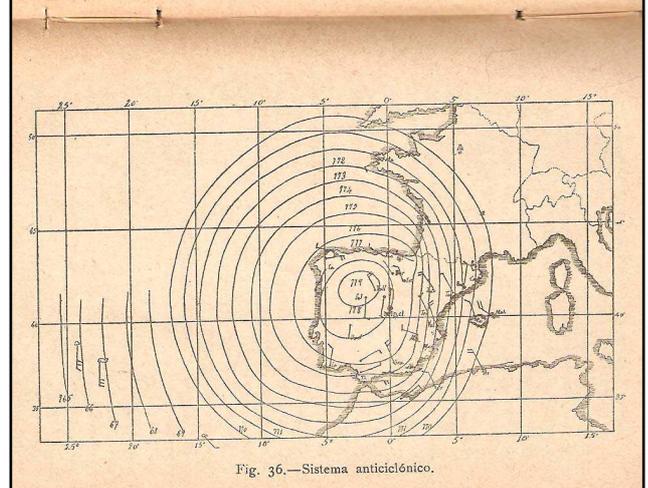


Fig. 36.—Sistema anticiclónico.

algunos que después de atravesar el Océano han llegado a Europa, con mayores dimensiones y menor fuerza, aunque *“también ocurre, aunque es raro, que en vez de ensancharse, se contraiga el ciclón, en cuyo caso aumenta considerablemente la fuerza del viento”*. Al hablar del desplazamiento de los ciclones tropicales menciona la fuerza de Coriolis, aunque sin llamarla por su nombre y eludiendo la más mínima formulación matemática: *“las partículas de las regiones del N. y del S. se desvían asimismo hacia la derecha, por razones que no podemos presentar aquí, pero que son de certidumbre matemática, pues está demostrado que todo cuerpo que se mueve libremente en la superficie de la Tierra, experimenta una desviación hacia la derecha de la dirección de su movimiento, en el hemisferio boreal, y hacia la izquierda en el austral; nula en el ecuador, aumenta con la latitud, alcanzando su valor máximo en los polos”*.

Viene a continuación una excelente descripción de los ciclones de los trópicos, su formación, su aspecto y los fenómenos asociados, acompañada por un relato bastante largo, tres páginas, sobre uno que tuvo lugar los días 10 y 11 de agosto de 1831 y que según afirma Arcimis le fue relatado a Dove, por lo que es de suponer que lo tradujo de alguna de las publicaciones del meteorólogo alemán. Recordemos que uno de los mayores talentos de nuestro autor era el dominio de varias lenguas, entre ellas el alemán, el francés y el inglés.

Tras el clímax del relato anterior, verdaderamente épico, parece que a Arcimis le quedan pocas ganas de tratar de los ciclones de latitudes medias, a los que apenas dedica una página. Aún faltaban unos pocos años para que los ciclones extratropicales se convirtieran en la estrella de la meteorología dinámica, gracias sobre todo a las aportaciones de unos por entonces desconocidos sabios de un lejano país del norte de Europa.

El último epígrafe del capítulo está dedicado a los tornados y trombas, y aquí vuelve a retomar Augusto Arcimis el mismo tono novelesco pero al mismo tiempo combativo contra algunas de las supersticiones de su tiempo, que nos permitiría incluirle más bien en la nómina de los escritores divulgadores científicos, como su coetáneo Julio Verne (1828-1905), que en la de rigurosos “meteorologistas” de los que en verdad no hubo en España hasta un par de décadas después (Doperto, Duperier, Jansá...), y que en un ejercicio de imaginación nos permitiría suponer lo mucho que disfrutaría nuestro sabio gaditano con el cine catastrofista tan de moda en estos últimos tiempos y sus espectaculares recreaciones de todo tipo de fenómenos meteorológicos y de otras clases, a cual más destructivo. Veamos, para despedir el artículo, un pequeño ejemplo de lo dicho tomado de la páginas 176 y 177, a propósito de la marea producida por los huracanes en la India:

“En las costas bajas de ciertas regiones, como por ejemplo, en la India, todavía hay que agregar una causa más de devastación á las propias del ciclón, que es la llamada marea del huracán ú ola del ciclón. A consecuencia de la escasa presión atmosférica que hay en el centro del torbellino, se elevan las aguas á mayor altura de la normal, lo que, unido á la gran masa que en el mismo sitio acumulan los vientos procedentes de todos los puntos del horizonte, hace que el mar suba algunos metros sobre su nivel ordinario. Cuando el ciclón invade una comarca baja, las aguas la inundan en extensión de centenares de kilómetros, destruyendo cuanto encuentran a su paso y transportando consigo, á veces, buques de alto bordo de tres y cuatro mil toneladas, que luego han aparecido varados á varios kilómetros de la orilla. En el delta del Ganges, que es muy extenso, perecieron en una ocasión, por la marea del huracán, más de 100.000 personas”.

BIBLIOGRAFÍA

- Anduaga, Aitor: “La regeneración de la astronomía y la meteorología españolas: Augusto Arcimis (1844-1910) y el institucionalismo”. En *Asclepio*, Vol. LVII-2, 2005, pp. 109-128 (también disponible en www.divulgameteo.es)
- Angot, Alfred: *Traité élémentaire de Météorologie*. Bureau Central Météorologique de France, París, 1899.
- Carramolino, D.: “La Ley de Giro (Drehungsgesetz) de Dove, y el nacimiento de la dinámica atmosférica en Alemania”. En <http://e-espacio.uned.es>
- Davis, W.M.: *Elementary Meteorology*. The Atheneum Press, Boston (USA), 1894.
- Despretz, C. : *Traité élémentaire de physique*. Paris, 1827.
- Lorentz, E. N.: “History of the Atmospheric Sciences: A History of Prevailing Ideas about the General Circulation of the Atmosphere”. En *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 64, Nº 7, Julio 1983.
- García de Pedraza, L. y Jiménez de la Cuadra, J. M.: *Notas para la Historia de la Meteorología en España*. Ministerio de Transportes, Turismo y Comunicaciones, Madrid, 1985.
- Palomares Calderón, M.: “Los noventa primeros años”. En *El Instituto Nacional de Meteorología. Un reto tecnológico*, pp. 13-36 Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, 2004.
- Palomares Calderón, M.: “La ascensión en globo de Augusto Arcimis en 1905”. En www.divulgameteo.es, febrero 2010.
- Persson, Anders O.: “Hadley’s Principle: Understanding and Misunderstanding the Trade Winds”. En *History of Meteorology* 3, 2006 (www.meteohistory.org.)
- Puigcerver, M.: “La escuela Noruega de Meteorología: una ojeada retrospectiva”. En *Acta Geológica Hispánica*, T. 14, 1979, pp. 54-59.
- RAM: “El descubrimiento de la estratosfera”. En la Revista del Aficionado a la Meteorología (www.meteored.com/ram), noviembre 2007.
- V.V.A.A.: “*La nube, las maravillosas nubes*”. Publicación nº 163 de la serie A (memorias) del Instituto Nacional de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, 2007.
- Wikipedia. La Enciclopedia libre. Principalmente los artículos sobre Dampier, Scoresby y Pascal, así como muchos otros datos biográficos incluidos en este texto.