

EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA METEOROLOGÍA Y SU APORTACIÓN A LA INVESTIGACIÓN AEROESPACIAL

HISTORICAL EVOLUTION OF METEOROLOGY AND HIS CONTRIBUTION TO AEROSPACE RESEARCH

D. Jaime García-Legaz Martínez

Físico y Catedrático de matemáticas de Bachillerato
Meteorólogo superior del Estado (jubilado). consultor de la OMM
Ex secretario general y subdirector general del INM/AEMET
Ex profesor de la UPT y UA de Madrid y de San Pablo-Ceu
Diplomado de Altos Estudios de la Defensa (CESEDEN)

D. Carlos García-Legaz Martínez

Doctor en ciencias físicas, Ex meteorólogo superior del Estado
Ex director del centro de formación del INM/AEMET
Ex miembro del grupo de expertos de formación de la OMM
Ex profesor de la Facultad de Físicas de la UCM y de San Pablo-Ceu
Director del Magister en riesgos climáticos e impacto ambiental (UCM)

SUMARIO: 1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS. 2. TELEDETECCIÓN. 3. MODELIZACIÓN Y PREDICCIÓN NUMÉRICA. 4. EXPLORACIÓN AEROESPACIAL, ATMÓSFERAS PLANETARIAS, MARTE.

Resumen: Este artículo describe un breve resumen histórico de la meteorología, su desarrollo científico y experimental en los últimos cien años, sus aplicaciones, en especial a la aviación y, últimamente, a la investigación aeroespacial con mención al planeta Marte y su atmósfera.

Abstract: *This article describes a brief historical summary of meteorology, its scientific and experimental development in the last hundred years, its applications, especially to aviation and, lately, to aerospace research with mention of the planet Mars and its atmosphere.*

Palabras clave: Atmósfera, tiempo, clima, satélites, radares, Servicios Meteorológicos Nacionales (SMNs), Organización Meteorológica Mundial (OMM), Centro Europeo de Predicción Meteorológica a Medio Plazo (ECMWF), Organización Europea de Explotación de Satélites Meteorológicos (EUMETSAT), atmósferas planetarias, Marte.

Key Words: *Atmosphere, weather, climate, satellites, radars, National Meteorological Services (NMS), World Meteorological Organization (WMO), European Centre for Medium-Term Weather Prediction (ECMWF), European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites (EUMETSAT), planetary atmospheres, Mars.*

1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS

La Meteorología es una ciencia que trata de los fenómenos producidos en la atmósfera terrestre. Como el tiempo atmosférico afecta a todas las actividades del hombre su interés por la meteorología se remonta a la aparición del “homo sapiens” sobre la Tierra, hace unos 70.000 años, y resulta, por tanto, inmemorial. Por otra parte, la historia de la Humanidad está asociada a la curiosidad, al instinto básico de indagar en lo desconocido y disfrutar de los descubrimientos, lo que le ha llevado a investigar lo que hay en la atmósfera, fuera de la Tierra, y llevar a cabo exploraciones aeroespaciales, como las actuales al planeta Marte.

Los primeros habitantes, y durante muchos siglos, vivieron como cazadores, agricultores, ganaderos y pescadores, por lo que el comportamiento de la atmósfera (tormentas, lluvias, sequías, nubes, insolación...) influía decisivamente en su alimentación y forma de vida, para su supervivencia. En cierto modo como actualmente a nosotros, a pesar de vivir en nuestras grandes ciudades, con aviones, teléfonos, ordenadores, y demás avances tecnológicos. Así lo confirma el hecho de que los programas informativos sobre “el tiempo” de los medios de comunicación: televisión, radio, prensa... gozan de la máxima audiencia.

Ese interés por los fenómenos atmosféricos ha sido permanente a lo largo de la historia de la humanidad. Autores clásicos como Aristóteles lo ponen de manifiesto al dar unas explicaciones sobre el comportamiento de la atmósfera que hoy nos parecen llenas de ingenuidad. En la Hispania del siglo I, Séneca y Columela también escribieron sobre la Meteorología.

En la Edad Media el gran auge de la marina (pesquera, mercante y armada) recababa el estudio de los factores y fenómenos meteorológicos que afectan a su actividad de forma decisiva.

En el siglo VII, San Isidoro de Sevilla escribió libros que recopilaban el saber meteorológico de su tiempo (“De rerum natura”, “De rebús rustica” y “Etimologías”) y que fueron tan apreciados como la Biblia.

También los árabes de El-Andalus de España abordaron cuestiones del tiempo. Córdoba, en los siglos X al XII, era fuente del mayor conocimiento atmosférico, que transmitía a Europa.

En el siglo XIV hay citas alusivas al tiempo en el “Libro de la Montería” del Rey Alfonso XI de Castilla y en el “Libro de la caza” del Infante Juan Manuel.

Del siglo XV al XVII tuvieron lugar los grandes descubrimientos de los marinos que aprovecharon sus conocimientos de la circulación atmosférica de los vientos oestes y alisios para dirigir sus carabelas y galeotes.

Es bien conocida la frase del Rey Felipe II: “Yo mandé a mis naves a luchar contra los hombres, no contra los elementos”, cuando una serie de borrascas destruyeron los numerosos barcos de la Gran Armada enviados a las islas británicas.

En esa época se tiene un conocimiento muy útil de los vientos que impulsan las velas de los navíos: descubrimiento de la circulación de los alisios en el Atlántico por Colón, y en el Pacífico por Urbaneta.

Es en el siglo XVIII cuando la Meteorología inicia las medidas con instrumentos (barómetros, termómetros, pluviómetros, anemómetros...) y se comienza a organizar la obtención de datos precisos de los parámetros básicos de la atmósfera (temperatura, presión, viento, humedad, precipitación, nubes, rocíos, nieblas, tormentas y otros meteoros).

En este periodo se crean en los distintos países, los Observatorios meteorológicos, unidos en muchos casos a los Observatorios de Astronomía, lo que permitió tener los primeros registros de datos meteorológicos, imprescindibles para un conocimiento más riguroso del comportamiento atmosférico.

La necesidad de intercambiar esos datos e información meteorológica entre los distintos países para conocer el estado de la atmósfera y poder prever su posible evolución, sobre todo para la navegación marítima, motivó la “Primera Conferencia Meteorológica Internacional” en Bruselas en 1853. En ella se acordó un sistema común de observaciones meteorológicas a bordo de los barcos.

Posteriormente, en 1873, se celebró el Primer Congreso Meteorológico Internacional, que dio lugar a la creación de la OMI (Organización Meteorológica Internacional), constituida por los Directores de los Servicios Meteorológicos de los países integrantes. Durante los siguientes setenta años la cooperación internacional en meteorología se mantuvo eficazmente gracias a ese Comité de expertos “no gubernamentales”. Sin embargo, el desarrollo de la meteorología estaba obligando a compromisos cada vez mayores y al empleo de recursos costosos cuya disposición requería el compromiso de los gobiernos. Éstos iban apreciando cada vez más el valor de la meteorología y la conveniencia técnica de disponer de un solo Servicio en cada uno de sus países, controlado por el Estado, a fin de integrar las actividades y optimizar los recursos públicos en el apoyo a la aviación y otros intereses nacionales.

Los últimos cien años: coincidiendo con el profesor Van Mieghem podemos decir que hasta el año 1914 (comienzo de la Primera Guerra Mundial), la Meteorología

logía vivió su infancia. Pero justo en los años veinte del siglo pasado se produjeron grandes avances científicos y tecnológicos.

El científico noruego Vilhelm Bjerknes (1862-1951), que llevaba impulsando el estudio de la física atmosférica y sus aplicaciones prácticas, se estableció en 1917 en Bergen (Noruega), dedicado especialmente a investigar la predicción meteorológica. Junto a sus discípulos (Solberg, Bergeron y Rossby) conmocionaron a la comunidad meteorológica mundial con sus descubrimientos sobre el frente polar, la evolución de las depresiones de latitudes medias y el análisis de masas de aire y frentes.

En 1921 (hace ahora justo un siglo) se celebró en Bergen una histórica reunión de la Comisión de Estudios de Exploración de la Atmósfera Superior donde se dieron a conocer las nuevas teorías. Esta Comisión celebró su reunión de 1931 en Madrid.

Bjerknes y sus discípulos crearon la base de los actuales modelos de predicción meteorológica. Establecidas las ecuaciones en derivadas parciales que son aplicables al comportamiento dinámico y termodinámico de la atmósfera, y conocidas las condiciones iniciales en un momento dado, la resolución de ese sistema de ecuaciones permite predecir el comportamiento de la atmósfera en un periodo de tiempo posterior. Lo difícil de resolver este problema es la gran complejidad de esas ecuaciones, el requerimiento de enormes cantidades de datos fiables de observación y la mayor aún cantidad de cálculos necesarios para llegar a una solución aproximada. Richardson, uno de los discípulos de Bjerknes, aplicó el método de las “diferencias finitas” para poder abordar la resolución de dichas ecuaciones y necesitó seis semanas para realizar una predicción a seis horas. Calculó que “harían falta 64000 personas trabajando por turnos para prever el estado de la atmósfera con mayor rapidez que la de su evolución real”.

Para llegar a lograr unas predicciones meteorológicas fiables hubo que esperar al aumento de las observaciones, fundamentalmente las de los satélites meteorológicos generados en gran cantidad, su rápida concentración gracias a las telecomunicaciones y su procesamiento mediante sucesivas generaciones de superordenadores de prestaciones cada vez mayores hasta los actuales. A este tema de la Predicción Numérica volveremos unos párrafos después.

Todos estos avances científicos y tecnológicos y la necesidad de asegurar la cooperación internacional en el intercambio de datos e información meteorológica dieron lugar a la creación de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), organismo con carácter gubernamental, como Agencia Especializada en Meteorología dentro del marco de la ONU, en sustitución de su precursora OMI. La OMM entró en funcionamiento el 23 de marzo de 1950. Desde entonces, en dicha fecha se celebra anualmente el “Día Meteorológico Mundial”.

Ya hemos mencionado el origen “marino” de un gran impulso al desarrollo de la meteorología. Ahora debemos hacer una mención especial a la aviación. Vuelo y Meteorología son inseparables. La Meteorología estudia la atmósfera, medio en el que se desenvuelve la aviación. Gracias al desarrollo de la aviación los Servicios Meteorológicos han podido dotarse de medios y recursos que les han hecho más útiles, no solo a ese usuario prioritario, sino a todos los demás. Las normas de OACI (Organización de la Aviación Civil Internacional creada en 1947) definen la responsabilidad de los Estados respecto a la seguridad, eficiencia y regularidad de

la navegación aérea internacional, lo que incluye los servicios meteorológicos aeronáuticos, que están regulados en el Anexo 3 al Convenio de OACI y Reglamento Técnico de la OMM).

Los objetivos fundamentales de los servicios meteorológicos son: la protección de vidas y bienes, la protección del medio ambiente y el apoyo eficaz a la planificación de las actividades sensibles al comportamiento de la atmósfera. No es posible por ello exponer aquí las numerosas aplicaciones de la meteorología a los más diversos sectores: protección civil, Defensa, energía, medio ambiente, agricultura, ganadería, pesca, hidrología, transportes, turismo, comercio, industria, seguros, ocio, deportes, educación, dada su extensión, importancia, y posible olvido de muchos otros. Bástenos decir que los beneficios sociales y económicos de los servicios meteorológicos a todos esos sectores han sido reconocidos mundialmente por todos los organismos internacionales y que justifican sobradamente los recursos e inversiones necesarios para la prestación eficaz de tales servicios.

No obstante, dentro de este breve resumen histórico de la evolución más reciente de la meteorología, por la enorme aportación de las nuevas tecnologías, añadiremos unas menciones a la teledetección y a la modelización numérica.

2. TELEDETECCIÓN

La primera necesidad para conocer el estado de la atmósfera en un instante dado es que los servicios meteorológicos generen y reciban datos fiables de observación. Datos globales, aun en el caso de que nos interese una zona geográfica concreta, por ejemplo, un Estado, una Región o una comarca. Y, además, datos muy frecuentes tanto en la escala temporal como espacial. Tarea que no puede ser abordada por ningún país en solitario, pues la atmósfera no reconoce fronteras geográficas, políticas ni administrativas, y que dio lugar al Programa fundamental de la OMM: el Programa de la Vigilancia Meteorológica Mundial (VVM) y el establecimiento del Sistema Mundial de Observación Meteorológica (SMO).

Las medidas de los parámetros meteorológicos básicos (temperatura, humedad, viento, presión, precipitación...) se obtienen normalmente de los instrumentos o equipos de observación colocados en el lugar deseado.

En el caso de observaciones en superficie los sensores se sitúan en garitas meteorológicas. Si se desea conocer la estructura vertical de la atmósfera los sensores son elevados por un globo-radiosonda o transportados en un avión. Sin embargo, este tipo de observaciones “in situ”, que han constituido durante muchas décadas el sistema convencional, es insuficiente para los nuevos requerimientos de la predicción. El desarrollo de instrumentación electrónica con capacidad de medir un elevado número de variables meteorológicas, y el progreso de la microinformática y las telecomunicaciones permitió en la década final del pasado siglo, incrementar notablemente las observaciones mediante las denominadas “estaciones meteorológicas automáticas” (EMA). Gracias a éstas no sólo aumentó la densidad espacial de las redes de observación, sino que fue posible obtener datos de modo continuo, incluso de lugares deshabitados o de difícil acceso.

Ese notable avance en los datos de observación recibió otro impulso aún mayor gracias a la implementación de los sistemas de Teledetección o de medidas a distancia (satélites, radares y detección de rayos).

La instrumentación típica son los radiómetros, espectrómetros y los sistemas radar. Estos instrumentos pueden medir los resultados de la interacción de las ondas electromagnéticas con un volumen o región de la atmósfera, cuyas medidas, mediante técnicas apropiadas, permiten inferir las de las variables físicas que caracterizan el estado de esa parte de la atmósfera.

El extraordinario potencial de la teledetección pudo desarrollarse gracias a la tecnología aeroespacial y a la capacidad de poner en órbita satélites artificiales, así como el extraordinario progreso de la informática y las telecomunicaciones. A este respecto baste recordar el lanzamiento en 1957 del primer satélite artificial Sputnik por la URSS, y poco después, en 1960, por Estados Unidos los satélites meteorológicos de órbita baja TIROS, y en 1974 el primer satélite geostacionario con una misión meteorológica: el SMS-1.

En Europa, en 1972 en el seno de ESRO, precursor de la Agencia Espacial Europea (ESA) se inicia el programa de desarrollo de los satélites Meteosat. El primero de ellos se lanzó en 1977 para contribuir al éxito del Primer Experimento Meteorológico Mundial, que durante 1978 y 1979 logró la observación coordinada de la Tierra desde 5 satélites geostacionarios y 2 satélites de órbita polar baja.

Ello dio lugar a la creación en los siguientes años, 1981 a 1986, a la creación de EUMETSAT (Organización para la Explotación de los Satélites Meteorológicos). Los numerosos satélites Meteosat (Primera y Segunda Generación) han estado proporcionando datos cruciales para la predicción meteorológica desde 1977, como entrada para los modelos numéricos de predicción del tiempo y para el seguimiento del clima. Citemos como ejemplo la reciente noticia, de 15 de noviembre de 2021, de EUMETSAT comunicando la retirada del satélite Metop-A después de 15 años de enormes beneficios para la predicción meteorológica numérica

Los Meteosat de Tercera Generación (MTG) iniciados en 2020 continuarán en la década de 2040. Constituyen el sistema de satélites más innovadores jamás construidos, con capacidades nuevas y mejoradas, que contribuirán de forma decisiva a todas las áreas de la meteorología, y en especial a la fiabilidad de las predicciones del tiempo y a la vigilancia del clima.

3. MODELIZACIÓN Y PREDICCIÓN NUMÉRICA

El sistema de predicción del tiempo en los Servicios Meteorológicos Nacionales durante muchos años, hasta la década de 1980, era descriptivo y empírico (análisis sinópticos, mapas previstos, predicciones nacionales, aeronáuticas y marítimas...) mediante un análisis manual, a partir de los datos recibidos por teletipo y transcritos en los mapas por personal especializado que realizaba su este trabajo con rapidez y eficacia. Tras ese análisis se procedía a su comparación e interpretación de las topografías hemisféricas de 500 y 300 milibares (o hectopascales) previstas a 36, 48 y 72 horas, procedentes de los Centros de Predicción más prestigiosos (el

National Weather Service de Estados Unidos, del Met Office del Reino Unido, de Alemania, de Meteo-France, u otros SMNs), que se recibían a través de facsímil. Tras ello los Meteorólogos, con su ciencia, su técnica, su arte y su experiencia, elaboraban las predicciones requeridas por los distintos sectores de usuarios. En la década 1965-1975 con el progresivo avance de los ordenadores se fue imponiendo la modelización numérica, basada en las ideas de 50 años antes de Bjerknes y Richardson ya mencionadas, liderada ahora inicialmente por Estados Unidos y secundada por Europa con la creación, en 1975, del Centro Europeo de Predicción Meteorológica a Plazo Medio (CEPPM), (ECWMF en inglés).

Este Centro, de prestigio reconocido por la comunidad científica internacional, tiene en sus instalaciones una de las supercomputadoras más grandes del mundo por su potencia de cálculo y capacidad de almacenamiento de datos y concentra a un numeroso equipo de investigadores y técnicos operacionales del máximo nivel. Sus programas y trabajos constituyen, sin duda, la vanguardia mundial de la meteorología operativa, proporcionando las predicciones más fiables y con mayor precisión espacial y temporal.

A su vez, los Servicios Meteorológicos Nacionales de los Estados miembros del CEPPM potencian sus modelos de área limitada a su ámbitos (LAM) y los recursos informáticos necesarios. Tal vez, como ejemplo ilustrativo para tener una idea del orden de magnitud de los datos y cálculos manejados en los actuales modelos de Predicción Numérica, sirva mencionar el reciente salto cualitativo dado este año 2021 en España por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) al sustituir el superordenador Nimbus (BULL) (2014-2020) por el Cirrus (ATOS) (2021-2025), lo que ha supuesto multiplicar por 10 el rendimiento pico del anterior hasta alcanzar 16800 Teraflops (1680 billones españoles, de doce ceros, de operaciones de coma flotante por segundo) así como su capacidad de almacenamiento de datos hasta alcanzar más de 4000 Terabits, con una accesibilidad mucho más rápida (100 GBits por segundo).

4. EXPLORACIÓN AEROESPACIAL, ATMÓSFERAS PLANETARIAS, MARTE

El fascinante mundo de la exploración espacial, iniciado con el primer Sputnik (1957), primer vuelo tripulado Vostok 1 (Yuri Gagarin, 1961), llegada a la Luna con el Apolo XI (1969), ha proseguido en las siguientes décadas con los lanzamientos de numerosos satélites artificiales alrededor de la Tierra y sondas a otros planetas del sistema solar.

La exploración del Sistema Solar está actuando como una fuerza de arrastre científica y tecnológica para numerosos científicos de muchos países a todos los niveles de la investigación y la técnica. De momento, el hombre sólo ha llegado a la Luna, pero las misiones planetarias han sido muy numerosas.

Esa exploración del sistema solar ha permitido que haya crecido enormemente el conocimiento que tenemos de esos planetas y, en particular, de las principales características de las atmósferas de los planetas más próximos a la Tierra: su masa

y composición física y química, su estructura física, la distribución de densidad, el movimiento en su seno, la temperatura superficial media, la presión en su superficie de cada una de esas atmósferas planetarias, sus constituyentes principales... Así sabemos que Venus tiene una atmósfera cubierta de nubes de gran espesor compuestas en más del 90% por CO₂, la de Marte tiene algunas nubes de H₂O de poco espesor con más del 80% de CO₂ y Júpiter tiene nubes de amoníaco y con su mayor proporción de Hidrógeno y Helio.

Centrándonos en Marte, nuestro planeta “vecino”, algunas de las características observadas de su atmósfera son que la presión atmosférica en la superficie es del orden de 6,35 mbar (0,7% la de la Tierra), similar a la presión atmosférica en la Tierra entre 28 y 40 km; su atmósfera es muy oxidante, lo que origina el color rojo característico de Marte. Al ser tan tenue la atmósfera marciana, puede existir una diferencia de temperatura de hasta 15°C entre el suelo y 1 m. de altura, así como grandes diferencias entre el día y la noche, al no existir océanos y mares que regulen la temperatura como en la Tierra.

Marte es un objetivo de interés central en la exploración aeroespacial en el contexto de la posible existencia de vida extraterrestre, pasada o presente. El lanzamiento de misiones a Marte fue inaugurado por la Unión Soviética en 1960. Hasta la fecha se han contabilizado un total de 46 misiones, de las cuales 19 han tenido éxito¹.

Finalizamos este artículo señalando la extraordinaria y entusiasta labor científica y técnica del Grupo de Estudios Marcianos de la Universidad Complutense, liderado por los Prof. Luis Vázquez, Francisco Valero, Pilar Romero, María Luisa Martín... y otros de la UPM, UAM y U. Francisco de Vitoria. Este acreditado Grupo está integrado en la Plataforma Tecnológica Aeroespacial Española, a la que gustosamente remitimos a los interesados².

Por último, queremos agradecer a nuestro buen amigo Fernando Cascales Moreno su amable invitación a colaborar con este artículo para la Revista Española de Derecho Aeronáutico y Espacial y a su subdirectora Elisa González Ferreiro, Presidenta de la Asociación Española de Derecho Aeronáutico y Espacial, por aceptarlo e incluirlo en la misma.

Asimismo, hacemos constar nuestro agradecimiento a Luis Vázquez Martínez y a Francisco Valero Rodríguez, Catedráticos de la Universidad Complutense, y sobre todo amigos, por habernos facilitado la información que les solicitamos relativos a los valiosos estudios del Grupo de Marte de la Plataforma Tecnológica Aeroespacial Española del que son parte esencial.

Obviamente hemos de reconocer y agradecer el trabajo de los autores de las publicaciones que reseñamos como fuentes bibliográficas utilizadas para este artículo. La mayoría de ellos meteorólogos de reconocido prestigio, compañeros nuestros de profesión a lo largo de más de 40 años en el SMN/INM/Aemet y de otros Servicios Meteorológicos Nacionales.

1. Los principales descubrimientos del Programa de Exploración de Marte (MEPAG. Mars Exploration Program Analysis Group) están contenidos en <http://mepag.jpl.nasa.gov/science/index.htm>

2. <http://www.plataforma-aeroespacial.org>