

## Walter Findeisen y la microfísica de nubes

Miguel Ángel GARCÍA COUTO

Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)

[migarciac@aemet.es](mailto:migarciac@aemet.es)

**Resumen:** La microfísica de nubes se ocupa básicamente de estudiar las condiciones necesarias para la formación de las gotitas nubosas y su posterior crecimiento hasta dar lugar a la precipitación. Se trata de uno de los campos más complejos de estudio en meteorología y en él destaca la notable contribución histórica de tres eminentes científicos que desarrollaron su actividad en el siglo XX: los alemanes Wegener y Findeisen, y el sueco Bergeron. En el contexto del nacimiento de la microfísica de nubes, este artículo se centra especialmente en la figura de Walter Findeisen, joven meteorólogo alemán fallecido prematuramente en el curso de la Segunda Guerra Mundial. Se aportan detalles poco conocidos sobre su vida, incluidas dos fotografías inéditas amablemente suministradas por el Servicio Meteorológico de Alemania.

**Palabras clave:** microfísica de nubes; nubes mixtas; formación de precipitaciones; teoría de Wegener-Bergeron-Findeisen.

### 1. EL PORQUÉ DE ESTE ARTÍCULO

El origen de este artículo se encuentra indirectamente en el libro «Guía básica de meteorología», de Javier Cano, recientemente publicado por AEMET y que incluye un índice onomástico con imágenes y datos biográficos de las 120 personalidades «meteorológicas» que se citan a lo largo del texto.

A la hora de recopilar imágenes de cada personaje para el citado índice, el autor de este artículo se topó con la enorme dificultad de encontrar alguna fotografía del meteorólogo alemán Walter Findeisen, a pesar de que vivió en un periodo reciente como es la primera mitad del siglo XX. La intrincada tarea de búsqueda de información sobre este físico alemán condujo a la biblioteca del Deutscher Wetterdienst, el Servicio Meteorológico de Alemania, que amablemente suministró material inédito al respecto, incluidas dos fotografías. La imprevista aparición de este valioso y casi olvidado material animó a difundirlo a través del presente artículo acompañado de un breve repaso a la vida de Findeisen y su contexto científico e histórico.

### 2. BREVE INTRODUCCIÓN A LA MICROFÍSICA DE NUBES: PROCESO DE WEGENER-BERGERON-FINDEISEN

La microfísica de nubes estudia las condiciones necesarias para la formación de las gotitas nubosas y su posterior crecimiento hasta dar lugar a la precipitación, y constituye uno de los campos más complejos de estudio en la meteorología.

En el ámbito de la microfísica de nubes adquiere especial importancia el denominado proceso (o teoría) de Wegener-Bergeron-Findeisen, también conocido simplemente como proceso (o teoría) de Bergeron-Findeisen, que se refiere al rápido crecimiento de los cristales de hielo a expensas de las gotas de las nubes circundantes, algo que tiene lugar de forma habitual en las llamadas «nubes mixtas» o «nubes de fase mixta», es decir, en aquellas nubes que contienen agua tanto en fase líquida como sólida (hielo). Este proceso es el resultado de la diferencia en las presiones de vapor de saturación con respecto al agua líquida y al hielo, y en algunas circunstancias

puede conducir a una congelación abrupta y completa de las nubes a temperaturas de entre  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  en la atmósfera terrestre.

El proceso lleva el nombre de tres eminentes científicos que trabajaron en la primera mitad del siglo XX y el estado de comprensión de los fenómenos que abarca no ha cambiado sustancialmente desde entonces hasta la actualidad. La importancia del proceso Wegener-Bergeron-Findeisen es bien conocida por meteorólogos y climatólogos en la medida que puede tener profundas consecuencias en el tiempo y en el clima al transformar abruptamente nubes líquidas que no precipitan en nubes de hielo que precipitan fuertemente y que cambian dramáticamente las propiedades radiativas de las nubes.



*Figura 1. Los padres de la microfísica de nubes. De izquierda a derecha: Alfred Wegener (imagen de dominio público), Tor Bergeron (imagen de dominio público) y Walter Findeisen (cortesía de la Deutsche Meteorologische Bibliothek, Deutscher Wetterdienst, DWD).*

## TEORÍA DE WEGENER

El meteorólogo y geofísico alemán Alfred Lothar Wegener (1880–1930), yerno del climatólogo Wladimir Köppen, y conocido también por su entonces controvertida teoría sobre la deriva continental, fue quien primero sentó las bases de la microfísica de nubes al postular, en 1911, la teoría que lleva su nombre y que señala que la coexistencia de agua líquida y hielo es un estado termodinámicamente inestable. Esta revelación supuestamente le llegó a Wegener mientras estudiaba la formación de la escarcha (STORELVMO y TAN, 2015).

La figura de Wegener se encuentra íntimamente ligada a la meteorología polar. Su intrépido espíritu aventurero e investigador le llevó a participar en numerosas expediciones científicas por las regiones árticas. Durante una de ellas encontró la muerte en los hielos de Groenlandia, víctima de un infarto probablemente a causa del sobreesfuerzo realizado tras un temporal de nieve, el 1 de noviembre de 1930, el mismo día que cumplía 50 años (GARCÍA CRUZ, 2012).

## EFFECTO BERGERON

En el invierno de 1922 el meteorólogo sueco Tor Bergeron (1891–1977) reflexionó sobre la teoría de Wegener durante una estancia en el balneario noruego de Voksenkollen, situado sobre una colina boscosa a las afueras de Oslo. Bergeron había notado que cuando la temperatura estaba por debajo del punto de congelación, los caminos forestales cercanos estaban libres de niebla mientras que los árboles aparecían cubiertos de escarcha. Sin embargo, la niebla normalmente estaba presente y se extendía hasta el suelo cuando las temperaturas superaban los  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Bergeron había leído un libro de Alfred Wegener años antes que hablaba de «nubes mixtas» que contienen gotas de líquido sobreenfriado (o sea, a una temperatura por debajo de la de congelación) y también cristales de hielo. Debido a que estos últimos son una forma de agua más estable que las gotas líquidas a temperaturas bajo cero, Wegener señaló que en estas condiciones las gotas líquidas se evaporarían y sus vapores harían que los cristales de hielo crecieran. Bergeron recuerda (BAMS, 1978) que «inmediatamente» pensó en la teoría de Wegener para explicar sus observaciones en el bosque brumoso: en este caso, los cristales de hielo que eliminaban las gotas de líquido no estaban en el aire, sino en las ramas de los árboles cubiertas de escarcha.

En los años siguientes Bergeron pensó en cómo la transferencia de masa de agua de las gotas de líquido a los cristales de hielo que observó en los bosques de Oslo también podría abordar el problema relativo a la forma en que las nubes originan las precipitaciones. Si hay pocos cristales de hielo en relación con la cantidad de agua líquida en una nube mixta, los primeros pueden volverse lo suficientemente pesados como para comenzar a caer del cielo. La posterior observación de las nubes por parte de Bergeron fue coherente con dicho proceso.



*Figura 2. Balneario de Voksenkollen, cerca de Oslo, a principios del siglo XX, el idílico paraje donde Bergeron reflexionó sobre la teoría de Wegener. Imagen: Bergen Public Library Norway (dominio público).*

Bergeron incluyó estas ideas en su tesis doctoral, que comenzó a escribir en 1927, pero la «teoría del núcleo de hielo» no circuló ampliamente hasta que fue presentada en una reunión de la Unión Internacional de Geodesia y Geofísica celebrada en Lisboa en 1933. Según su teoría, los procesos en las nubes compuestas únicamente de agua líquida no bastan para explicar la formación de la lluvia y Bergeron supuso que todas las precipitaciones importantes se deben a la fase de hielo, en la que la existencia de cristales de hielo en las nubes de agua juega un papel decisivo.

La acogida de la teoría de la precipitación de Bergeron, o «efecto Bergeron», entre sus colegas fue dispar ya que los meteorólogos más acostumbrados a climas del sur estaban más preocupados por las precipitaciones de las cálidas nubes tropicales, en marcado contraste con Bergeron, quien escribió que «por entonces apenas había conocido en primera persona ningún tiempo o clima al sur del paralelo 50° N (salvo un invierno que pasó en Malta)».

## CONFIRMACIÓN EXPERIMENTAL DE FINDEISEN

En 1938 entra en escena el meteorólogo militar alemán Walter Findeisen (1909-1945), quien proporcionó cálculos teóricos adicionales así como experimentos en cámaras de niebla para desarrollar aún más sus teorías. La primera tesis doctoral de Findeisen (1932) se centró en las distribuciones del tamaño de las gotas de las nubes e incluyó experimentos realizados en cámaras de niebla, un enfoque verdaderamente novedoso para la época. La cámara de niebla de Findeisen tenía aproximadamente dos metros cúbicos de volumen y estaba conectada a una bomba de vacío, lo que permitió imitar en la cámara el proceso de expansión adiabática y la formación de nubes atmosféricas.

Findeisen cita con frecuencia el trabajo de Wegener y Bergeron en su artículo fundamental de 1938 (FINDEISEN, 1938), que le permitió presentar una visión general coherente y completa del conocimiento de la formación de nubes y precipitaciones atmosféricas del momento. Solo mediante observaciones desde aviones pudo demostrar que, a temperaturas de únicamente unos pocos grados bajo cero, las nubes de agua aparecían con mayor frecuencia que las nubes de hielo, y que a temperaturas inferiores a  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  predominaban fuertemente estas últimas. Sin embargo, se observaban nubes de agua incluso por debajo de  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Comenta Findeisen en el citado artículo que se puede encontrar una regularidad en el patrón aparentemente ininteligible del estado agregado en la formación de las nubes cuando se suponen dos tipos completamente diferentes de núcleos, a saber, los núcleos de condensación y los núcleos de sublimación, o sea, los núcleos de condensación de hielo. Findeisen constató, a través de mediciones en altitud, que ambos tipos de núcleos —indispensables para la formación de nubes en la atmósfera— tenían un origen terrestre y no cósmico, como hasta entonces se consideraba para los núcleos de condensación.

Como tal, el artículo va más allá del proceso Wegener-Bergeron-Findeisen por el que más tarde se hizo conocido Findeisen y, en muchos sentidos, puede considerarse la primera descripción completa de la microfísica de las nubes tal como se entiende hoy.

El padre de la física atmosférica española, el gran meteorólogo zamorano Francisco Morán, examina pormenorizadamente la contribución de Findeisen en su obra clásica *Apuntes de termodinámica de la atmósfera* (MORÁN, 1944) donde, en su capítulo VII (dedicado a las precipitaciones atmosféricas), cita al físico alemán nada menos que trece veces señalando que el campo de la microfísica de nubes constituye una parte de la meteorología no suficientemente bien estudiada aún y que será de gran importancia en el futuro para la meteorología sinóptica (MÉNDEZ y PALOMARES, 2022).

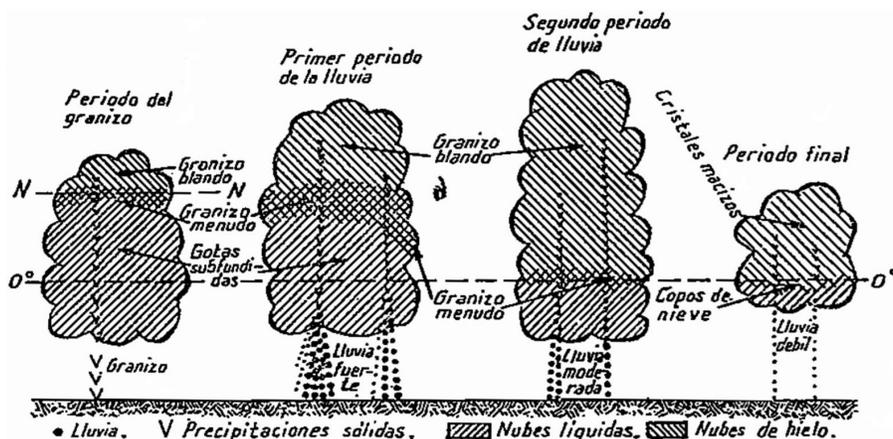


Figura 3. Adaptación de Francisco Morán del esquema realizado por Findeisen que muestra las precipitaciones en los diferentes periodos de la evolución de un cumulonimbo.

Fuente: MORÁN, 1984 (basado en FINDEISEN, 1938).

Hay que poner en valor la contribución de Wegener, Bergeron y Findeisen. Los científicos atmosféricos actuales tienen el privilegio de realizar investigaciones en una época rica en datos, con mediciones sobre el terreno, observaciones de teledetección, trabajo de laboratorio y modelos numéricos. Por el contrario, estas tres grandes figuras de la microfísica de nubes contaban con muy pocas observaciones *in situ* a su disposición y, por supuesto, carecían de datos satelitales. Es un testimonio de su brillantez el hecho de que, aun así, llegaron a muchas de las mismas conclusiones válidas de la actualidad.

### 3. LA FIGURA DE WALTER FINDEISEN

De los tres padres de la microfísica de nubes, sin duda Walter Findeisen es el más desconocido. Por esa razón a continuación se profundiza en su figura gracias, en parte, a la valiosa contribución aportada por la biblioteca del Servicio Meteorológico de Alemania, el *Deutscher Wetterdienst* (DWD).

Theodor Robert Walter Findeisen nació en Hamburgo (Alemania) el 23 de julio de 1909. Estudió meteorología en las universidades de Karlsruhe y Hamburgo donde tuvo como profesores, entre otros, al propio Alfred Wegener, y a Wilhelm Peppler y Albert Wigand, quienes le orientaron en su primera tesis doctoral (1932) hacia la transformación de los resultados experimentales del laboratorio en la teoría de las nubes y las precipitaciones. En 1933 Findeisen se convirtió en director de la Estación Meteorológica de Múnich y completó su formación meteorológica con una segunda tesis doctoral, en 1937, sobre métodos meteorológicos de medición de la humedad.

Posteriormente, al principio como empleado de su antiguo profesor Wilhelm Peppler en el Observatorio de Friedrichshafen —la ciudad de los zeplines a orillas del lago Constanza— que luego dirigiría hasta 1940, y desde otoño de ese año como director del *Wolkenforschungsstelle* (Centro de Estudios de las Nubes) del *Reichswetterdienstes* (Servicio Meteorológico del Reich) en la Universidad Técnica de Praga, Findeisen se dedicó por completo a investigar la formación de nubes y precipitaciones con especial atención a sus implicaciones para la aviación, publicando media docena de artículos científicos, entre ellos el ya citado artículo fundamental de 1938.

Inspirándose en los trabajos de Tor Bergeron, Walter Findeisen fue el primero en analizar la eficacia relativa de los procesos que conducen a la formación de precipitaciones. Sus intentos de registrar experimentalmente los procesos involucrados en la formación de hidrometeoros marcaron la pauta para estudios llevados a cabo mucho tiempo después. Sus consideraciones impulsaron intentos satisfactorios de modificar la formación de precipitaciones, aunque Findeisen ya no tuvo tiempo para proporcionar pruebas irrefutables de tal influencia. Por la convulsa época que le tocó vivir, no pudo completar el trabajo de su vida, pero sus métodos y los problemas que encontró seguirán planteando tareas para la meteorología observacional y experimental durante mucho tiempo.

Según la información proporcionada por el joven meteorólogo y estudiante Hanisch, alumno en prácticas de Findeisen (véase el cuadro 1), el propio Findeisen y sus colaboradores ya habían huido de Praga en mayo, después de la capitulación incondicional de la Alemania nazi, pero regresaron porque habían olvidado documentos importantes que querían salvar del Ejército Rojo que acechaba la capital checa.

En esas fechas, aunque las confrontaciones habían concluido ya en casi toda Europa, las tropas alemanas en Praga no querían rendirse al Ejército Rojo sino al norteamericano, que por entonces se encontraba al norte del río Elba. Pero lo que desconocían los alemanes era que los norteamericanos ya habían decidido no cruzar el citado río para dejar que fueran los soviéticos quienes entrasen en la capital checa. Además, unos y otros habían acordado no aceptar prisioneros alemanes que hubieran luchado contra el otro bando; es decir, los norteamericanos no aceptarían como prisioneros a militares alemanes que hubieran luchado contra los soviéticos. Entre el 5 y el 11 de mayo se desarrolló la batalla de Praga en la que el Ejército Rojo tomó la ciudad. En la

### Cuadro 1. Información sobre Findeisen facilitada por el DWD

A continuación se reproducen dos fotografías (figura 4) de Walter Findeisen facilitadas por el Servicio Meteorológico Alemán (DWD). Ambas se recibieron de un particular, se digitalizaron en el DWD en 2005 e incluyen también el texto que se reproduce en este cuadro.

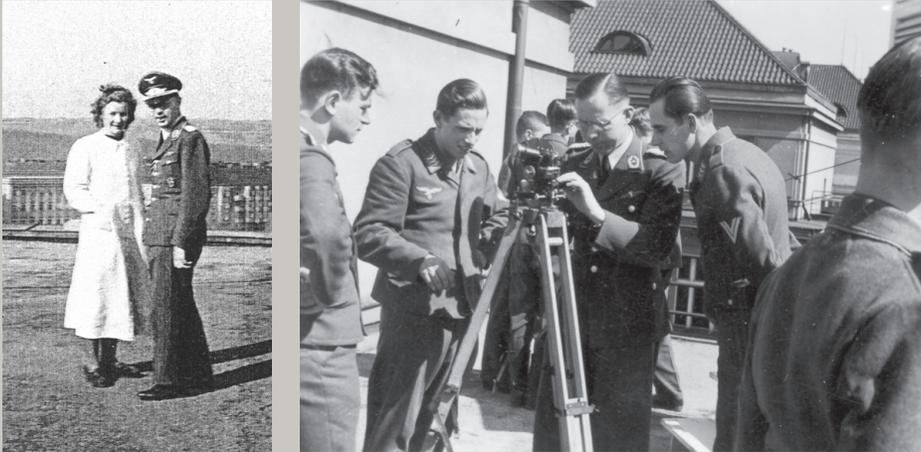


Figura 4. En la imagen de la izquierda el Dr. Findeisen aparece junto a su ayudante, la Dra. Stephan, quien más tarde se convertiría en su esposa. En la imagen de la derecha Walter Findeisen maneja un teodolito acompañado de varios estudiantes en prácticas. Ambas fotografías fueron tomadas por uno de los estudiantes, el Sr. Hanisch, que es el primero por la izquierda en la segunda imagen. (Imágenes reproducidas por cortesía de la Deutsche Meteorologische Bibliothek, Deutscher Wetterdienst, DWD).

Junto a las fotografías anteriores figura el siguiente texto:

*«Dr. Walter (Theodor Robert Walter) Findeisen: Hasta 1940 fue director del Observatorio de Friedrichshafen, y de 1940 a 1945 fue director del Centro de Estudios de las Nubes del Servicio Meteorológico del Reich en Praga, que estaba ubicado en la Universidad Técnica.*

*En la primera foto se le puede ver en la azotea de la casa con su ayudante y luego esposa, la Dra. Stephan. Ambos están desaparecidos desde mayo de 1945. Según una fuente muy fiable (el joven meteorólogo y alumno del Dr. Findeisen, el Sr. Hanisch), él y todos sus colegas ya habían huido de Praga en mayo después del final de la guerra, pero regresaron porque había olvidado documentos importantes que quería salvar de los rusos. Según la fuente, fue asesinado (llevando uniforme) por los checos, que habían desarrollado una gran animadversión hacia los alemanes. Probablemente la Dra. Stephan desapareció al mismo tiempo. Pero no se sabe nada sobre su destino.*

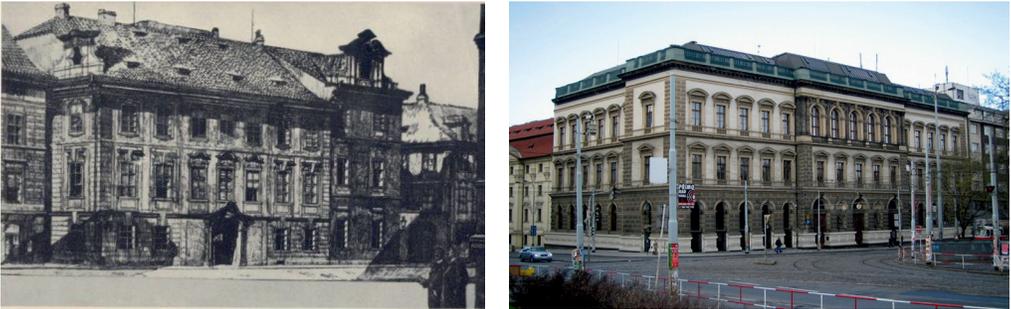
*Junto con Bergeron, compiló la teoría de Bergeron-Findeisen, que trata de la condensación y la formación de hielo en las nubes.*

*La segunda foto muestra al Dr. Findeisen con sus estudiantes en prácticas (los llamados «jóvenes meteorólogos», que durante la guerra realizaron un curso de meteorología abreviado y comprimido, de unos tres años de duración). Uno de los estudiantes (el primero por la izquierda) afirma que él es el Sr. Hanisch, quien tomó las fotos. El Dr. Findeisen es el hombre del teodolito.»*

confrontación se estima que perecieron unos 40 000 militares del lado alemán y 12 000 por la parte soviética. Fue la última gran operación militar de la Segunda Guerra Mundial.

Según el citado Hanisch, Walter Findeisen (que vestía su uniforme militar) murió el 9 de mayo de 1945 en Praga —con treinta y cinco años de edad— a manos de los partisanos checos, aliados de los soviéticos y que habían desarrollado una gran aversión hacia la ocupación alemana. Después de la guerra la cámara de niebla de Findeisen fue recuperada de las ruinas de Praga y posteriormente reconstruida (STORELVMO y TAN, 2015).

La historiadora checa Milena Josefovičová escribió en su libro «Universidad Técnica Alemana de Praga (1938-1945)» (JOSEFOVIČOVÁ, 2011) que Findeisen pertenecía a varios partidos y organizaciones de corte nacionalsocialista, entre ellos el partido nazi.



*Figura 5. Universidad Técnica de Praga. A la izquierda, el edificio en la segunda mitad del siglo XIX, con un aspecto similar al que conoció Findeisen cuando trabajó allí. A la derecha, imagen actual del mismo edificio. Las dos fotografías son de dominio público.*

#### 4. CONCLUSIONES

Un inesperado hallazgo de documentación inédita sobre el meteorólogo alemán Walter Findeisen, en particular dos fotografías e información sobre su desaparición, sirve de excusa para rendir un pequeño tributo a la figura de tres grandes científicos que desarrollaron su actividad fundamentalmente en la primera mitad del siglo XX y que pueden ser considerados como los padres de la microfísica de nubes en la medida que fueron pioneros en el estudio con detalle de las condiciones necesarias para la formación de las gotitas nubosas y su posterior crecimiento hasta dar lugar a la precipitación.

Alfred Wegener, Tor Bergeron y Walter Findeisen, con los precarios medios de una época convulsa y llena de todo tipo de dificultades, consiguieron postular las mismas conclusiones en las que se basa la microfísica de nubes actual proponiendo la existencia de las llamadas nubes mixtas que contienen agua tanto en fase líquida como sólida (hielo). Wegener fue quien primero teorizó al respecto, Bergeron desarrolló las ideas de Wegener, y Findeisen las refinó y comprobó experimentalmente.

#### AGRADECIMIENTOS

A Javier Cano, autor del libro «Guía básica de meteorología», publicación cuya preparación ha dado origen a la redacción de este artículo.

A Yvonne Kurz, de la biblioteca del Servicio Meteorológico Alemán (Deutscher Wetterdienst, DWD), por su enorme amabilidad al proporcionar la valiosa información sobre Walter Findeisen utilizada en este artículo.

## REFERENCIAS

- BULLETIN OF AMERICAN METEOROLOGICAL SOCIETY (BAMS), 1978. The Life and Science of Tor Bergeron. BAMS, 59 (4), 387-392, [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1978\)059<0387:TLASOT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1978)059<0387:TLASOT>2.0.CO;2).
- CANO SÁNCHEZ, J., 2024. Guía básica de meteorología. Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). Madrid.
- FINDEISEN, W., 1938. Die kolloidmeteorologischen Vorgänge bei der Niederschlagsbildung (Colloidal meteorological processes in the formation of precipitation). *Meteorologische Zeitschrift*, 55, 121-133. Traducido y editado por VOLKEN, E., GIESCHE, A. M. y BRÖNNIMANN, S., 2015. *Meteorologische Zeitschrift*, 24 (4), pp. 443-454, doi: 10.1127/metz/2015/0675.
- GARCÍA CRUZ, C. M., 2012: Alfred Lothar Wegener (1880-1930), una vida para la ciencia. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 20 (1), pp. 4-26. <https://raco.cat/index.php/ECT/article/view/257520/346113>.
- JOSEFOVIČOVÁ, J., 2011. Německá vysoká škola technická v Praze (1938-1945), Praha, S. 174.
- MÉNDEZ FRADES, A. y PALOMARES CALDERÓN, M., 2022. Francisco Morán Samaniego: Meteorología y Física del Aire en la España del siglo XX. Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). Madrid.
- MORÁN SAMANIEGO, F., 1944. Apuntes de termodinámica de la atmósfera. Servicio Meteorológico Nacional (SMN), publicación B-4. Madrid.
- STORELMO, T. y TAN, I., 2015. The Wegener-Bergeron-Findeisen process — Its discovery and vital importance for weather and climate. *Meteorologische Zeitschrift*, 24 (4), pp. 455-461, doi: 10.1127/metz/2015/0626.

## Sitios web

- WIKIPEDIA. Batalla de Praga: [https://es.wikipedia.org/wiki/Batalla\\_de\\_Praga](https://es.wikipedia.org/wiki/Batalla_de_Praga) [consultado el 28 de octubre de 2024].
- WIKIPEDIA. Walter Findeisen: [https://de.wikipedia.org/wiki/Walter\\_Findeisen\\_\(Meteorologe\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Walter_Findeisen_(Meteorologe)) [consultado el 28 de octubre de 2024].