

duros para que se les pueda comparar con granizos menudos; y lo cierto es que la nevisca parece establecer el tránsito entre la nieve y el granizo.

La densidad de la nieve es muy variable según la temperatura, el estado higrométrico y el tamaño de los copos. La que cae estando el tiempo seco y frío es más ligera, y las capas que forma en el suelo menos compactas que las que proceden de una nieve más húmeda. La densidad suele ser 10 ó 12 veces menor que la del agua; Musschenbroeck ha pesado en Utrecht nieve formada de cristales estrellados y ha visto que era 24 veces más ligera que el agua.

V

LOS PLUVIÓMETROS

Medir la cantidad de agua meteórica que cae en un lugar dado durante el curso de un año en forma de lluvia, nieve, granizo ó nevisca, es asunto de grande importancia para el estudio climatológico de dicho lugar. Consíguese esto con los instrumentos conocidos con los nombres de *pluviómetros*, *udómetros* y *ombrómetros*, cuya significación es la misma.

El pluviómetro más sencillo se compone de una vasija de forma cilíndrica M, que tiene á un lado un tubo acodado A, y en su parte superior un embudo cónico B que recoge el agua caída por la abertura exterior. El nivel del agua en el tubo lateral da en milímetros el espesor de la capa de agua caída. El cero de la escala está al nivel de un diafragma que tiene un agujero en medio: antes de hacerse una observación debe llenarse de agua el instrumento hasta este nivel. Con un aparato dispuesto de este

modo, no se puede medir más que cantidades de lluvia poco abundantes, puesto que lo que se valúa y se lee es la altura misma de la capa de agua.

Para obtener más precisión en las lecturas, se suele dar al cilindro en que se recoge el agua una sección mucho más pequeña que la sección recta del embudo, es decir, que la superficie en que cae la lluvia. Por lo común, el círculo del pluviómetro tiene 226 milímetros, ó bien una superficie de 4 decímetros cuadrados. Tomando $71^{mm,5}$ como diámetro

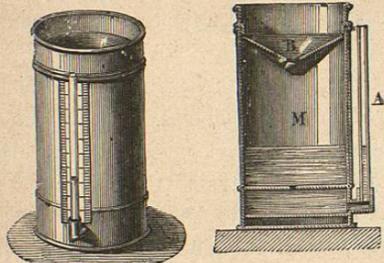


Fig. 104.—Pluviómetro: vista exterior. Fig. 105.—Pluviómetro: corte.

del cilindro, la superficie del agua que se recoja en él será diez veces menor que la del embudo, y su altura diez veces mayor. Por consiguiente los milímetros leídos en la escala serán décimas de milímetro de agua caída. No hay para qué decir que se podría tomar cualquiera otra proporción para las secciones.

La figura 106 representa un pluviómetro construido en virtud de este principio: es el pluviómetro *decuplicador* Tonnelot.

El pluviómetro *totalizador* de Hervé-Mangón está construido de un modo análogo, pues el tubo lateral decuplica las alturas de lluvia caída; pero lleva un depósito inferior en el que se recoge sucesivamente el agua de una serie de observaciones y sirve de comprobación para las lecturas. He aquí la descripción y el uso de este apéndice, tomada de las *Instrucciones meteorológicas* de la Oficina central: "Debajo del cilindro

de cinc hay un depósito D, enteramente cerrado, que puede comunicar con el cilindro B por medio de una llave. Después de la observación de cada día, se abre esta llave de modo que se haga pasar al depósito inferior toda el agua recogida por el pluviómetro, y en seguida se la cierra de nuevo. De este modo se reúne el líquido en el depósito D sin que esté expuesto á ninguna evaporación. De vez en cuando, la persona que cuida de las observaciones mide el agua contenida en el depósito D, abriendo con una llave especial la espita E en que remata este depósito, y recibiendo en una probeta graduada el líquido acumulado desde la última inspección. El número de centímetros cúbicos de agua recogido así, dividido por 40 (1), expresará en milímetros la altura de la capa de agua caída en el intervalo considerado, altura que deberá resultar sensiblemente igual á la suma de las alturas inscritas en el mismo período por el observador encargado de las operaciones cotidianas. Esta comprobación, siempre fácil de hacer, y en la que no necesita ocuparse la persona encargada de ella más que algunos minutos por mes, permite corregir los errores que la negligencia ó el olvido causan á menudo en las observaciones."

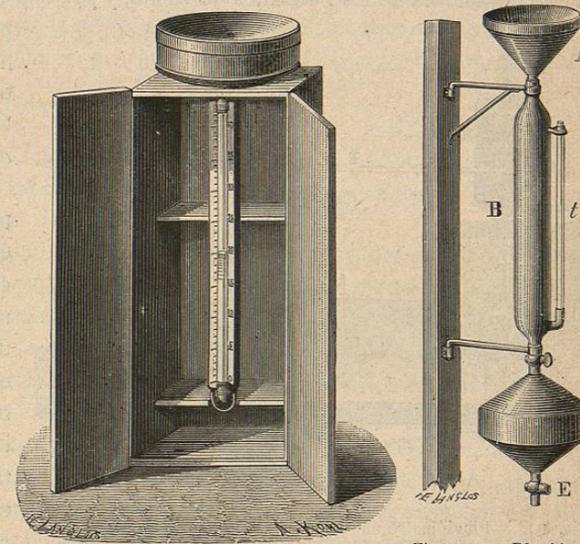


Fig. 106.—Pluviómetro decuplicador de Tonnelot.

Fig. 107.—Pluviómetro totalizador de Hervé-Mangón.

En los observatorios meteorológicos se emplean aparatos anotadores de la lluvia, *pluviógrafos* ó *udógrafos*. La figura 108 representa el anotador del pluviógrafo del Observatorio de Montsouris. El receptor de las aguas pluviales está colocado á la parte de afuera á 2 metros de altura; comunica por un tubo *v* con la parte inferior de la vasija cilíndrica A, pasando á ella por este tubo las aguas meteóricas conforme van precipitándose. En la superficie del líquido descansa un flotador que lleva en su centro una barrita dentada C, cuyos movimientos ascendentes marcan el aumento de nivel del agua, movimientos que deben quedar inscritos en el cilindro H dado de negro. Esta inscripción se consigue de un modo muy sencillo. La barrita dentada, guiada en su carrera vertical por unas ruedecitas macizas, engrana con un piñón que lleva en un eje una excéntrica *e* en espiral, en cuyo contorno se apoya la aguja E equilibrada por el contrapeso *p*. Cuando llueve, el agua sube y la punta de la aguja describe una curva ascendente; si la lluvia cesa, la línea descrita es horizontal. Cuando la excéntrica ha efectuado una revolución completa, la aguja baja y empieza otra vez á inscribir una nueva curva.

El pluviómetro anotador marca así, además de la cantidad de agua caída en cada

(1) La superficie del embudo es de 4 decímetros cuadrados; la del cilindro B, diez veces menor, de 40 centímetros cuadrados. El volumen dividido por la superficie da la altura en centímetros para el cilindro, y en milímetros para el embudo.

lluvia, las horas del día y de la noche á que empieza y acaba el fenómeno, y por consiguiente, su duración, pudiendo deducirse también la intensidad del aguacero.

El receptor de los pluviómetros debe estar situado en sitio bien descubierto, de modo que el depósito no esté resguardado por ninguna parte de la lluvia y la reciba, cualquiera que sea la dirección del viento que la impele. Por lo común, se le pone de modo que su abertura esté á 1^m,50 ó 2 metros del suelo. Si se le pusiera demasiado bajo, podría introducirse en él agua de la que salpica la misma lluvia, y en invierno estaría expuesto á quedar cubierto por la nieve que el viento amontonaría á su pie. Si muy alto, no daría generalmente, como lo ha demostrado la experiencia, más que una cantidad de agua inferior á la que cae en el suelo (1). Se suele atribuir esta desigualdad á la influencia de los remolinos de viento, y por esta razón se recomienda muy expresamente que no se instale nunca el pluviómetro sobre un tejado. (*Instrucciones de la Oficina central meteorológica de Francia.*)

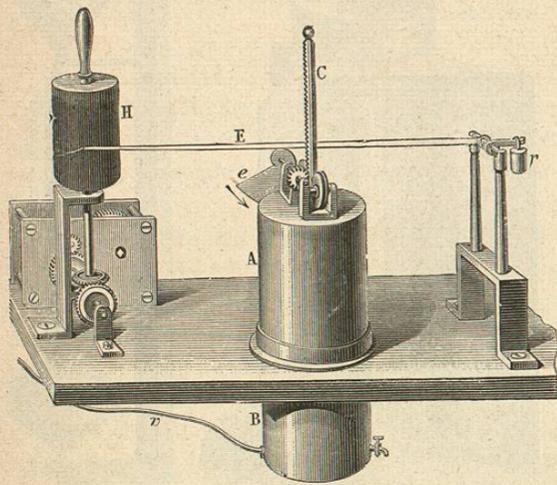


Fig. 108.—Pluviómetro anotador del Observatorio de Montsouris

Para recoger la nieve y medir el agua que procede de ella, se toman algunas precauciones particulares. El pluviómetro Tonnelot está metido en una caja de madera; se pone en él una lamparilla ó una brasa de carbón de París, con lo cual la temperatura es bastante elevada en él para derretir la nieve tan luego como cae é impedir que el agua se congele en el cilindro. “En ciertos puntos, dice Mohn, en que nieva á ráfagas violentas, puede suceder que la nieve no caiga en el pluviómetro, ó que, si cae en él, el viento la disperse y se la lleve á otra parte; en tales casos, es imposible medir cantidad algu-

(1) Aragón ha hecho observar en su estudio *sobre la lluvia* que la cantidad de ésta depende de la altura del udómetro sobre el suelo. Habiendo anotado las alturas anuales, recogidas de 1817 á 1853 en dos aparatos perfectamente idénticos instalados en el Observatorio de París, uno en la cúspide del edificio, y otro en el patio, obtuvo como promedio de estos 37 años las cantidades siguientes:

Lluvia en el patio.	579 ^{mm} ,80	} Diferencia, 68 ^{mm} ,46
— en la azotea.	511 ^{mm} ,34	

O sea una diferencia de un séptimo en ventaja del udómetro inferior, para una diferencia de nivel de unos 29 metros. Sucede con la nieve lo que con la lluvia. Se han hecho observaciones análogas en York (Inglaterra) en 1832 y 1834, en la cúspide de la catedral, del Museo y en el jardín, á diferencias de altitud de 64,51 y 13 metros; en Besanzon, en el fuerte Bregille y en la Facultad de ciencias (diferencia 196 metros); en América, en Cartagena, Popayán y Santa Fe de Bogotá. Unas y otras prueban que la cantidad de lluvia disminuye con la elevación; pero es probable que las causas de estas diferencias no sean las mismas. Especialmente en el último ejemplo, en que se trata de altitudes que varían entre 0 y 1,800 á 2,700 metros, la causa es puramente meteorológica y depende de las mismas capas que producen la lluvia. En el Observatorio de París el fenómeno procede de una causa accidental, de la presencia del monumento y de la acción del viento que con sus remolinos lleva al udómetro las gotas de agua que no debían ir á parar á él.

na., Para obviar este inconveniente se recurre á varios medios. He aquí el que dan las *Instrucciones*: “El mejor medio para medir exactamente la nieve consiste en poner al lado del pluviómetro un cubo de cinc bastante hondo, que tenga la misma abertura, y sobre el cual se pueda poner en caso necesario la anilla del pluviómetro. Si el cubo de cinc es bastante hondo, el viento no arrebatará la nieve después de caer en él. Para valuar la cantidad de agua correspondiente, se derretirá la nieve, ya acercando el pluviómetro al fuego, ó bien echando un volumen de agua caliente medida de antemano, y se hará uso de la misma probeta que para el pluviómetro. Al mismo tiempo que se valúa de este modo el agua dada por la nieve, que es lo esencial, se podrá anotar la altura que ésta tiene en el suelo. Para ello se escoge una superficie plana en que la capa de nieve sea bien regular. A pesar de ser importante en alto grado conocer la cantidad de agua dada por la nieve, es uno de los elementos que se miden con menos exactitud; por consiguiente, se procurará hacer esta observación con cuidado.”

VI

CANTIDADES DE LLUVIAS CAÍDAS. — FRECUENCIA Y DISTRIBUCIÓN DE LAS LLUVIAS

Merced á los documentos que proporcionan los pluviómetros observados con regularidad durante un espacio de tiempo más ó menos largo, puede efectuarse el estudio de una serie de cuestiones que encierran gran interés meteorológico ó climatológico; por ejemplo, averiguar la cantidad de lluvia ó de agua meteórica caída anualmente en un punto dado; conocer cómo se distribuye entre las estaciones, ó los meses, ó también entre el día y la noche; anotar el número de días de lluvia, la frecuencia y duración del fenómeno; comparar los datos suministrados por las observaciones del globo entre sí, y deducir de ellas, á la vez que la distribución de las lluvias, según la posición geográfica y la altitud, la influencia de los vientos, la mayor ó menor proximidad del mar, de las montañas, etc. Entremos en algunos detalles acerca de estas cuestiones, y aplacemos las demás para los capítulos en que se trate de los climas.

Tomemos por ejemplo las observaciones pluviométricas hechas en París, desde 1689 hasta 1872, en la azotea del Observatorio. Este intervalo comprende 184 años, y sólo tiene un vacío de 18 años entre 1754 y 1773 y otro de 6 entre 1794 y 1804: da por consiguiente 160 cantidades de lluvia anuales.

La primera observación que sugiere el examen de los 160 números que marcan en milímetros la cantidad de agua caída anualmente, ó de la curva (fig. 109) que los representa, es que esta cantidad es muy variable. No se echa de ver aquí esa constancia que nos ha llamado la atención en otros elementos meteorológicos, como la presión, la temperatura, etc. El promedio general de las 160 cantidades de lluvias anuales es de 484 milímetros (1): 79 son inferiores y 81 superiores á este promedio, pero las diferencias son considerables. El año 1733, en que llovió menos, sólo dió 210 milímetros; siguió á continuación 1723 con 230 milímetros y 1719 con 276. Los años más lluviosos han sido 1804, que dió 703 milímetros de agua, 1832 con 689, y 1711 con 681.

(1) Dejamos ya dicho que el pluviómetro de la azotea del Observatorio da menos lluvia que el del patio, siendo la diferencia de unos 68 milímetros por año. En este caso, el promedio de la cantidad de lluvia caída en el suelo sería de 552 milímetros. Tal es en efecto y á poca diferencia la cifra que resulta en el Observatorio de Montsouris, situado casi en las mismas condiciones que el astronómico. Para los once años comprendidos entre 1872 y 1883, el *Anuario de Montsouris* da un promedio de 560 milímetros.

Así pues, entre el máximo y el mínimo hay una diferencia de 493 milímetros, siendo de 1 á 3,35 la proporción de las cantidades extremas de agua caída. Pero en estas fluctuaciones nada denota un aumento ó una disminución sistemática en las cantidades de lluvia. Al dar Aragón los resultados del período comprendido entre 1689 y 1853, deducía ya la misma consecuencia, diciendo "que no hay razón alguna para suponer que el clima de París sea ahora más ó menos lluvioso de lo que lo era hace 150 años."

Si en vez de comparar las cantidades de lluvia caídas anualmente durante el expresado período se examinan las cifras anotadas cada mes, tomando los promedios mensuales de estos 160 años, tendremos los números siguientes:

Meses de la estación fría	Cantidades de lluvia	Meses de la estación calurosa	Cantidades de lluvia
Octubre.	45 ^{mm} ,1	Abril.	37 ^{mm} ,4
Noviembre.	40 ^{mm} ,6	Mayo.	45 ^{mm} ,8
Diciembre.	36 ^{mm} ,8	Junio.	51 ^{mm} ,3
Enero.	33 ^{mm} ,7	Julio.	51 ^{mm} ,5
Febrero.	29 ^{mm} ,4	Agosto.	47 ^{mm} ,5
Marzo.	31 ^{mm} ,2	Septiembre.	47 ^{mm} ,8
Total.	216 ^{mm} ,8	Total.	281 ^{mm} ,3

Vese desde luego que la lluvia caída durante los seis meses de la estación fría es mucho menos abundante que la de la estación calurosa (1); por consiguiente, á ésta debería reservarse el nombre de *estación lluviosa*. En los meses de junio y julio es en los que cae mayor cantidad de agua; febrero y marzo son los más secos. Se puede hacer evidente este resultado de otro modo, esto es, totalizando por separado cada estación meteorológica, y asignando al invierno los meses de diciembre, enero y febrero, á la primavera los de marzo, abril y mayo, etc. Tomando el período comprendido entre 1818 y 1853, Aragón ha obtenido las cifras siguientes:

ESTACIONES	Cantidades de lluvia caída	
	En milímetros	Promedio anual = 100
Invierno.	100	19,8
Primavera.	125	24,7
Verano.	145	28,7
Otoño.	135	26,8
	505	100,0

Como se ve, el verano es la estación en que resulta mayor cantidad de agua, y en invierno, menor. La primavera y el verano reunidos exceden en un séptimo próximamente al otoño y al invierno; el verano y el otoño superan al invierno y á la primavera en poco más de un cuarto. Se obtiene este mismo resultado agrupando de igual modo los promedios mensuales del largo período 1689 1872. La figura 110 representa gráficamente la distribución de las lluvias en París según los meses y estaciones.

En lugar de comparar entre sí los años y las estaciones por el concepto de las can-

(1) El contraste entre las dos estaciones sería aún más marcado si se empezase la primera en noviembre y la segunda en mayo. Entonces resultaría 209^{mm},1 para la estación fría y 286^{mm},0 para la calurosa ó lluviosa.

tidades de lluvia, se puede indagar cuál ha sido el número de días en que ha llovido ó nevado en cada período. Esta cuestión no es menos interesante que la primera por lo que respecta al clima de la región que se considera. Y en efecto, veremos que

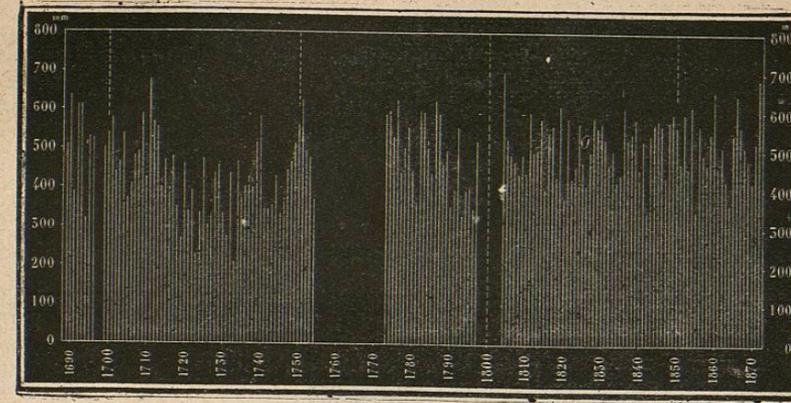


Fig. 109.—Cantidades de lluvia caídas anualmente en París desde 1689 á 1872

caen enormes cantidades de agua en países en que las lluvias son relativamente raras, al paso que á veces llueve con frecuencia en regiones cuyo suelo sólo recoge una cantidad escasa de aguas meteóricas. He aquí el promedio de los días de lluvia en París y en diferentes períodos:

	Días de lluvia	Días de nieve	Total
De 1773 á 1785.	140	"	140
1786 á 1795.	152	12	164
1796 á 1805.	124	14	138
1806 á 1815.	134	15	149
1816 á 1825.	153	9	162
1826 á 1835.	149	6	155
1836 á 1845.	164	17	181
Promedios.	145	10	155

Comparemos en los dos cuadros siguientes las cantidades de lluvia caída y los números de días observados en Montsouris en el período de diez años, comprendido entre 1873 y 1883, y los mismos números distribuidos con arreglo á los meses:

	Número de días de lluvia	Cantidades de lluvia caída
De octubre 1873 á septiembre 1874	178	404 milím.
— 1874 — 1875	199	566 —
— 1875 — 1876	198	575 —
— 1876 — 1877	240	568 —
— 1877 — 1878	246	588 —
— 1878 — 1879	264	675 —
— 1879 — 1880	177	394 —
— 1880 — 1881	203	607 —
— 1881 — 1882	194	440 —
— 1882 — 1883	212	618 —
Promedios	211	543 milím.

PROMEDIOS MENSUALES DE LOS DÍAS DE LLUVIA Y CANTIDADES DE LLUVIA CAÍDAS EN MONTSOURÍS, DE 1873 Á 1883

	Días	Lluvia		Días	Lluvia
Octubre.	18,3	56 ^{mm} ,2	Abril.	16,2	42 ^{mm} ,7
Noviembre.	21,2	52 ^{mm} ,1	Mayo.	14,6	35 ^{mm} ,5
Diciembre.	20,2	43 ^{mm} ,5	Junio.	17,9	52 ^{mm} ,6
Enero.	19,9	38 ^{mm} ,3	Julio.	15,4	50 ^{mm} ,7
Febrero.	18,5	32 ^{mm} ,3	Agosto.	15,5	52 ^{mm} ,5
Marzo.	16,9	32 ^{mm} ,1	Septiembre.	16,0	53 ^{mm} ,0
Total.	115,0	254 ^{mm} ,5	Total.	95,6	287 ^{mm} ,0

El año 1878 79 que ha dado la mayor cantidad de agua, es también el del máximo de los días de lluvia; en cambio el año siguiente 1879-80 corresponde á la vez al mínimo de lluvia caída y al de los días de lluvia. Los demás años del mismo período

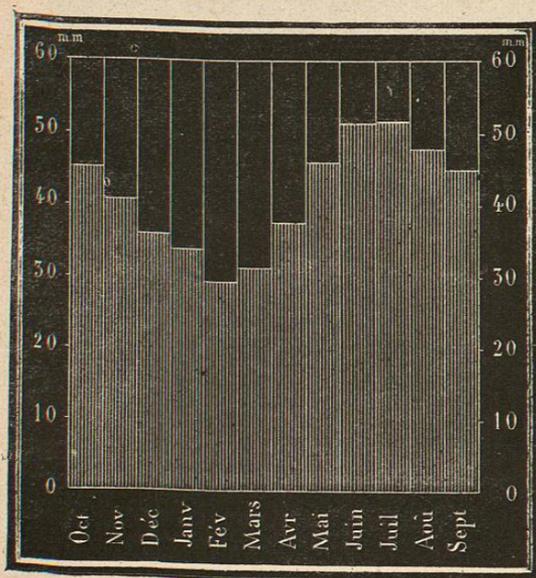


Fig. 110.—Cantidades medias de lluvia caídas anualmente en París, de 1689 á 1883

conservan poco más ó menos el mismo lugar por ambos conceptos. Pero si se considera no ya los promedios anuales, sino los mensuales, se deduce la consecuencia de que las lluvias de la estación calurosa son las más abundantes. En efecto, la cantidad de agua caída es mayor en la primera, al paso que el número de días de lluvia es notablemente menor. De abril á septiembre 956 días de lluvia dan 2.870 milímetros de agua, ó 3 milímetros diarios por término medio, mientras que de octubre á marzo 1.150 días han dado 2.545 milímetros, ó sea 2^{mm},21 por día.

Aragó demuestra con algunos ejemplos en su interesante estudio *sobre la lluvia* que la cantidad de agua caída durante las 12 horas del día (desde las 6 de la mañana hasta las 6 de la tarde) es menor que la que cae durante las 12 horas de la noche. En cambio llueve más á menudo de día que de noche, de donde se puede deducir la consecuencia de que las lluvias nocturnas son más copiosas que las diurnas, y en efecto, así resulta de varias series de observaciones. En 35 años de observaciones hechas por M. d'Hombres-Firmas (1802-1836) en Alais (Gard), la cantidad media anual recogida ha sido de 991^{mm},07 que se descomponen así:

		Núm. de veces que ha llovido
Lluvia caída de día.	476 ^{mm} ,25	60,5
— de noche.	514 ^{mm} ,92	55,1

Boussingault ha medido separadamente por espacio de tres meses la lluvia caída tanto de día como de noche en las inmediaciones de Marmato (Ecuador), y de una cantidad total de 572 milímetros, 518 proceden de la lluvia nocturna y sólo 54 de la diurna.

Por último, según las observaciones hechas en Versalles de 1847 á 1856 por Haeghens y Berigny, el promedio anual total de lluvia ha sido de 559^{mm},57. Deduciendo las cifras de los años 1851, 1853 y 1854, en los cuales no se pudo hacer la distinción, resulta por término medio 270^{mm},01 para la lluvia de día y 303^{mm},58 para la de noche.

Con todo, se necesitaría mucho mayor número de observaciones para demostrar la generalidad de esta ley, aun considerando tan sólo una región limitada, y lo que aquí decimos es aplicable á todos los resultados que acabamos de consignar relativamente á las cantidades de lluvia caídas en París. No hay nada tan variable como el fenómeno que nos ocupa: las condiciones que dan lugar á su mayor ó menor frecuencia ó abundancia cambian de un lugar á otro, á menudo poco distantes entre sí. Sin embargo, basándose en las observaciones pluviométricas hechas en muchas estaciones de las diferentes zonas, es permitido conocer ciertas influencias generales: la posición geográfica en latitud, la altura de las estaciones sobre el nivel del mar, la dirección de los vientos, la mayor ó menor distancia del Océano, la proximidad de las montañas y su orientación, son otros tantos factores que intervienen en el fenómeno y regulan su intensidad ó frecuencia.

En las regiones tropicales las lluvias suelen ser muy copiosas y caen periódicamente con gran regularidad; su frecuencia y abundancia son mayores en las zonas de las calmas, es decir, en el punto de encuentro de los vientos alisios del Nordeste y de los del Sudeste.

Contrastándose allí mutuamente las dos masas de aire, se elevan, arrastrando consigo á las altas regiones toda la humedad de que se han cargado al ponerse en contacto con las aguas calientes de los mares de los trópicos. La corriente ascendente tiene en especial gran fuerza durante el día, en que la activa la intensa radiación solar. Al llegar á las regiones elevadas del aire, el enfriamiento condensa los vapores en densas nubes que no tardan en resolverse en lluvias torrenciales. Por la noche la atmósfera está despejada, y al amanecer, el cielo perfectamente puro; mas al mediodía aparecen las nubes y llueve sin cesar hasta las nueve. El fenómeno ocurre con esta regularidad en el mar Atlántico y en el Pacífico. Según la época del año, esta zona sube ó baja al Norte ó al Sur del ecuador, alcanzando en el mes de agosto su posición más boreal (á unos 10° de latitud), y seis meses después, ó sea en febrero, su posición más austral.

Fuera de la zona de las calmas de la región oceánica, es decir, en los puntos de los trópicos en que soplan los alisios, las lluvias son por el contrario poco abundantes, menos en las cercanías de las tierras elevadas.

En los continentes y en el ecuador el año se divide en dos estaciones secas y en dos lluviosas, correspondiendo siempre éstas á la mayor altura cenital del Sol, que es el factor principal de la corriente ascendente y de las lluvias que son su consecuencia. A medida que es mayor la distancia al ecuador, las dos estaciones lluviosas tienden á confundirse y el año no se divide más que en una estación seca, durante la cual no hay nubes en el cielo, y otra lluviosa, que se distingue entonces por la extraordinaria abundancia de agua caída.