

años precedentes, mediante la comparación de las observaciones pluviométricas. En algunos casos—y en uno de ellos se ha encontrado el que estas líneas escribe—, un año de aforos, referido á los que durante el mismo año y durante muchos años anteriores hizo el Estado á diario en cuenca inmediata y enteramente similar (Canal de Aragón y Cataluña), permite reconstituir las curvas de caudales y volúmenes correspondientes á varios años, con grandes garantías de exactitud, casi las mismas que las que proporcionaría la observación directa.

Para una primera aproximación, pueden, á falta de aforos, utilizarse observaciones pluviométricas, juntamente con el estudio detenido de la cuenca. Como las ordenadas de la curva (V) son volúmenes de agua, bastará fijarse en los datos sobre precipitaciones atmosféricas y afectarlos de un coeficiente de esorrentia. En las partes altas de las cuencas, el agua caída tarda poco en llegar al cauce y discurrir por él, de suerte que las curvas (V), deducidas de la observación directa de caudales y de las alturas de lluvia caída, son muy semejantes y pueden reemplazarse una por otra sin error sensible. La nieve, en cambio, representa, por sí misma, un acumulador anual que deforma sensiblemente la curva (V).

Es innecesario decir que deberá suplementarse la capacidad deducida para el pantano con lo que la evaporación representa en éste, ó al menos, tener en cuenta esta evaporación en el sentido que proceda. La representación gráfica indica en cada instante ó época del año el contenido del vaso regulador, y puede deducirse, en consecuencia, el área de la superficie líquida. La curva (V') quedaría así un poco deformada con relación á la curva (V), pero puede suponerse la igual, adoptando como suplemento constante debido á la evaporación, el máximo que corresponda á determinada época del año.

Claro es que la representación gráfica de que nos hemos ocupado puede aplicarse al estudio de la regulación diaria para una central productora de energía, y aun á otra clase esencialmente distinta de fenómenos variables en el tiempo, en los que hay que considerar la variación de una función y la de su derivada, susceptible aquélla de acumulación y ofreciendo interés para ésta la imposición de un régimen determinado *a priori*. Tales son, por ejemplo, los conceptos de trabajo y potencia, y así podría aplicarse el método gráfico á la determinación de volantes de inercia, baterías de acumuladores, etc.

L. S. CUERVO.

NOTA CRÍTICA

SOBRE LAS OBSERVACIONES REALIZADAS POR LA ESCUELA FORESTAL DE NANCY PARA DETERMINAR LA INFLUENCIA DE LOS MONTES EN LA LLUVIA

La creencia de que el arbolado aumenta la cantidad de lluvia de los parajes que cubre ha tratado de justificarse en más de una ocasión por la experiencia. Uno de los intentos más interesantes, y quizás el más antiguo de todos, por lo menos con la amplitud con que se ha realizado, es el de las observaciones inauguradas en Nancy en 1866 por Mathieu, Subdirector por aquella época de la Escuela forestal instalada en dicha población.

Para poder juzgar de sus resultados, empezaremos por describir las disposiciones adoptadas.

Tratábase de estudiar la influencia de los bosques en las lluvias, y á este fin se establecieron tres estaciones pluviométricas, situadas en los alrededores de Nancy.

La primera era una estación caracterizadamente forestal, y fué instalada en el bosque de Halle, en el sitio llamado *Les Cinq-Tranchées*, á 8 kilómetros al Oeste de Nancy, á la altitud de 336

metros y en el centro de un vasto macizo arbolado de más de 7.000 hectáreas. Colocóse allí un pluviómetro en medio de un espacio desmontado de unas 40 hectáreas, inmediato á las casas forestales. La segunda estación estaba situada en Bellefontaine, á 6 kilómetros al NO. de Nancy, á una altitud de 240 metros próximamente y en la orilla del macizo forestal, cuyo centro está en Cinq-Tranchées, pero fuera del mismo, á algunos cientos de metros de distancia. Un pluviómetro ordinario, pero de grandes dimensiones, permitía medir la caída total de lluvia que había de representar la recibida por un suelo sin árboles, pero situado en las proximidades del bosque.

Una tercera estación debía dar la medida de la lluvia caída sobre los terrenos agrícolas. Se la escogió primero en Amanche, á 10 kilómetros al NE. de Nancy y á una altitud de 386 metros, y allí se mantuvo hasta 1882, instalándose el pluviómetro en medio de un terreno descubierto. Las necesidades del servicio hicieron trasladarlo en aquella fecha á la casa forestal de la Bouzule, cerca de Champenoux, cuya altitud es sólo de 225 metros, y que se halla situada á 4 kilómetros al SE. de la primitiva y mucho más próxima á regiones arboladas.

Las observaciones han durado treinta y tres años, y, al empezar el plantío de hayas y carpes, en cuyo centro se instaló el pluviómetro de Cinq-Tranchées, tenía cuarenta años de edad.

El cuadro núm. 1 da el resultado de las observaciones de las tres estaciones resumidas por años (1).

Cuadro núm. 1.

Cantidades de agua recibidas anualmente en terreno descubierto en cada una de las tres estaciones.

AÑOS	CANTIDADES ABSOLUTAS			CANTIDADES RELATIVAS			OBSERVACIONES
	Les Cinq-Tranchées	Bellefontaine	Amanche la Bouzule	Les Cinq-Tranchées	Bellefontaine	Amanche la Bouzule	
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	
1867.....	925,0	879,0	862,0	100	95,0	93,2	La estación agrícola está en Amanche á 386 m. de altitud.
1868.. ..	743,0	738,0	631,0	100	98,7	84,1	
1869.....	774,0	721,0	628,0	100	93,2	81,1	
1870.....	576,0	593,0	518,0	100	103,0	89,9	
1871.....	744,0	708,0	625,0	100	95,2	84,0	
1872.....	903,0	877,8	717,0	100	97,2	79,4	
1873.....	753,5	740,9	639,0	100	98,3	84,8	
1874.. ..	695,5	618,9	545,9	100	89,0	78,5	
1875.....	954,1	894,2	597,2	100	93,7	62,6	
1876.....	822,0	847,4	669,9	100	103,1	81,5	
1877.....	921,1	961,9	746,9	100	104,4	81,1	
1878.....	1052,7	1026,7	825,8	100	97,4	78,4	La estación agrícola está en Bouzule á 225 m. de altitud.
1879.....	998,2	979,2	726,9	100	98,1	72,9	
1880.....	877,1	870,7	678,9	100	99,3	77,4	
1881.....	682,9	736,8	514,3	100	108,0	75,3	
1882.....	973,7	942,9	822,6	100	96,8	84,5	
1883.....	878,5	916,1	680,9	100	104,3	77,5	
1884.....	668,9	626,6	559,7	100	93,7	83,7	
1885.....	1009,2	814,7	763,0	100	80,7	75,6	
1886.....	930,7	891,1	738,0	100	95,7	79,3	
1887.....	772,9	720,2	577,0	100	93,1	74,7	
1888.....	1061,0	849,2	723,6	100	80,0	68,2	
1889.....	857,3	691,0	582,0	100	80,6	67,9	La estación agrícola está en Bouzule á 225 m. de altitud.
1890.....	813,6	697,2	629,0	100	85,7	77,3	
1891.....	898,1	776,5	672,2	100	86,5	74,8	
1892.....	988,4	849,9	635,1	100	86,0	61,3	
1893.....	695,4	692,5	505,4	100	99,6	74,0	
1894.....	713,2	657,5	532,5	100	92,2	74,7	
1895.....	970,1	890,9	674,1	100	91,8	69,5	
1896.....	875,2	773,5	661,5	100	83,4	75,6	
1897.....	835,6	755,4	570,3	100	88,5	68,1	
1898.....	731,8	680,0	484,1	100	92,9	66,2	
1899.....	905,4	876,7	733,3	100	96,8	81,0	
TOTALES..	28006,1	26295,4	21470,3	»	»	»	
Medias....	848,7	796,8	650,6	100	93,9	76,7	

(1) Huffel, *Economie Forestière*, tomo I, pág. 70.

Al dar cuenta de ellas. Huffel añade siguiendo á Bouville: «Se ve que, sin ninguna excepción, durante toda la duración de las observaciones, la estación agrícola ha recibido sensiblemente menos agua que las estaciones forestales. Además, ocho veces de cada diez, la lluvia ha sido más abundante en la estación de Cinq-Tranchées, situada en el centro del macizo de Haye, que en la de Bellefontaine establecida en la linde.

Este resultado, señalado ya en 1878 y 1889, no podría, como hizo notar Mathieu, ser debido al azar: es, por el contrario, la consecuencia de una causa permanente, que, en las condiciones en que se estaba colocado, no podía ser más que el estado superficial del suelo, muy arbolado en dos de las estaciones y descubierto en la tercera.

Si se considera separadamente el período de diecisiete años consecutivos (1867-1883), durante el cual la estación agrícola estaba en Amance, á una altitud superior en 50 metros á la de la estación forestal de Cinq-Tranchées, se ve que, durante este período, la estación forestal ha recogido, por término medio, 840 y la otra 672 milímetros de agua. Estos números son entre sí como 100 y 80. Si se quisiera corregir por el cálculo la influencia de la diferencia de altitud de las dos estaciones, esta relación se convertiría en 100 : 76, admitiendo un aumento de 55 milímetros en la altura de la lámina pluvial, para un aumento de altitud de 100 metros. El exceso de riego de la estación forestal vendría así medido por 192 milímetros, ó sea el 29,2 por 100 de la caída anual en Amance.

Durante los dieciséis años de 1884 á 1899, la estación agrícola estaba en la Bouzule, á 225 metros de altitud, es decir, 111 metros más baja que la estación forestal. La altura de la lámina pluvial ha sido durante este tiempo de 858 milímetros en el bosque y de 627 en la estación agrícola. Estos dos números son entre sí como 100 y 73,1. Si se quisiera corregir por el cálculo la influencia de la diferencia de altitud de las dos estaciones, esta relación se convertiría en 100 : 78. El exceso de riego de la estación forestal sería así de 191 milímetros, ó sea el 28,6 por 100 de la caída anual en la Bouzule.

Todas estas observaciones son de tal manera concordantes que nos ha parecido inútil proseguirlas por más tiempo en el mismo punto, y hemos transportado á la región montañosa de los Vosgos el lugar de las observaciones meteorológicas de investigaciones forestales de Nancy.»

Si examinamos con cuidado los resultados de la experiencia, veremos que esas observaciones que tan concluyentes parecen á Huffel, se prestan á muchas y muy fundadas críticas. En primer lugar, la elección de las estaciones no está exenta de reproches. La de Cinq-Tranchées, aunque rodeada de bosque por todas partes, se encuentra en un claro de 40 hectáreas, próximamente, de extensión, con lo que ha de distar, por término medio, del arbolado que la rodea unos 350 metros próximamente: su situación, si no en todo igual, ha de ser muy parecida á la de Bellefontaine, situada también á poca distancia de la linde del bosque.

El abrigo prestado por los árboles debe ser, sin embargo; mayor en Cinq-Tranchées que en Bellefontaine, donde sólo existe de un lado, y precisamente el opuesto á los vientos húmedos. Por esta razón, y aparte del efecto producido sobre el pluviómetro mismo, del que más adelante nos ocuparemos, la acumulación de la lluvia en este espacio abrigado puede resultar favorecida.

Huffel responde en nota (1) á este reparo que el pluviómetro forestal de Cinq-Tranchées está colocado sobre un punto elevado

de la meseta de Haye, en el cruzamiento de cinco carreteras importantes, de las que una es la carretera nacional de París á Strasburgo, orientada en línea recta del Oeste al Este, lo que quita todo abrigo contra los vientos dominantes, y que la altura de los árboles próximos no excede de 20 metros. Las razones no son convincentes; el camino abierto al aire por una carretera, por ancha que sea, será siempre muy poca cosa, para que su efecto no sea considerablemente atenuado al extenderse sobre una superficie de 40 hectáreas; si la altura de los árboles próximos es pequeña, la de los demás podrá no serlo tanto, y, dado que no se trata de una pantalla de arbolado, sino de un bosque de 7.000 hectáreas, no cabe negar que el efecto de protección puede ser muy sensible. En todo caso, no se le ha tomado en cuenta, y ningún dato hay en las observaciones que permita eliminar esta causa de error. Quedaría, por lo menos, la duda de si no podría atribuirse á este efecto una diferencia en la lluvia recogida cifrable en un 2 ó un 3 por 100, aun siendo benévolos en el cálculo.

Los resultados, se dirá, exceden de ese límite; pero sigamos adelante en nuestro examen. La estación de Bellefontaine no se encuentra á la misma altitud que Cinq-Tranchées. Huffel, que se preocupa mucho de eliminar esta diferencia cuando se trata de las estaciones agrícolas, no se preocupa poco ni mucho de ella en este otro caso. Realmente la corrección tiene mucho de arbitraria; pero si se toma en cuenta una vez, no hay motivo para despreciarla otra; la imparcialidad científica exige en todo caso igual trato. Ahora bien, la altitud de Bellefontaine es de 240 metros, la de Cinq-Tranchées de 336; á los 96 metros de desnivel correspondería una lluvia anual de 52,8 milímetros, si se ha de admitir un aumento de 55 por cada 100 metros de desnivel, y como la media de Bellefontaine durante los treinta y tres años es de 796,8, la que le correspondería, si su altitud fuera la de Cinq-Tranchées, sería 849,6; con muy escasa diferencia es la misma observada en este último punto. Del centro del bosque á la linde no habría, pues, diferencia apreciable en las precipitaciones. Es más, si se hace la corrección en cada año, se comprobaría que en veinte años las cifras correspondientes á Bellefontaine serían superiores á las de Cinq-Tranchées, y sólo en trece ocurriría lo contrario.

Pasemos por ello, podría replicar el adversario; al fin y al cabo se trata de dos estaciones forestales; no debe extrañar que sus resultados difieran poco; aun nos queda la gran diferencia comprobada entre las estaciones forestales y las agrícolas; pero ¿quién nos asegura que esta diferencia proceda exclusiva ni aun principalmente del diferente estado de las superficies?

La objeción no ha pasado inadvertida al propio Huffel; he aquí cómo la formula y cómo la contesta:

«Es al Este de la meseta de Haye donde se encuentra la región de Amance-la-Bouzule; está demostrado que recibe menos riego que el bosque; pero, ¿ocurriría lo mismo si se cambiara la situación respectiva de las regiones estudiadas?

Para responder de una manera precisa sería necesario poder establecer alrededor de todo el bosque estaciones agrícolas. Esto supone un macizo aislado en medio de una región desmontada, situación que no se encuentra en los alrededores de Nancy.

En las condiciones en que se han hecho las observaciones, es, pues, natural preguntarse si los resultados obtenidos no son debidos únicamente á que Amance-la-Bouzule se encuentra al Este de la meseta de Haye.

La cosa sería tanto más verosímil cuanto que llueve sobre todo con los vientos del Oeste. Entonces las diferencias comprobadas entre los dos puntos procederían únicamente de la distancia que los separa, ó de la circunstancia de que las nubes pasan

(1) Obra citada, pág. 82.

por encima del macizo forestal antes de llegar á la región no arbolada.

Es posible, sin embargo, á pesar de que la estación agrícola sea única, poner en evidencia la influencia del bosque y darse cuenta de las condiciones en las cuales se ejerce. Se llegará á ello comparando separadamente, para cada uno de los vientos con los cuales se producen las precipitaciones atmosféricas, las cantidades de agua caídas en Cinq-Tranchées y en Amance-la-Bouzule.

No parece, sin embargo, útil llevar muy lejos este detalle. Si los resultados obtenidos son debidos á la situación relativa de los puestos de observación, se presentarán diferencias cuando se considere, de una parte, los casos en los que las nubes lluviosas van del bosque á la región desnuda, y de otra parte, aquellos en que vienen de todas las demás direcciones.

Ahora bien; el macizo de Haye, que se prolonga hacia el Norte por el del Avant-Garde y los bosques de Liverdun, está dispuesto de manera que abriga en cierto modo á Amance-la-Bouzule contra los vientos del NO. al SO. De aquí la repartición hecha en el cuadro núm. 2. A falta de informes para el periodo anterior á 1889, no se han podido hacer figurar en él sino los datos concernientes á los últimos once años.

Cuadro núm. 2.

Comparación entre las cantidades de lluvia, caída con los vientos del sector Oeste y los de los otros sectores.

AÑOS	Vientos del SO. = O. y NO.			Vientos del N.-NO. = N. = NE. E. = SE. = S.-SO.			CANTIDADES TOTALES DE LLUVIA CAÍDA		
	Les Cinq- Tranchées.		La Bouzule.	Les Cinq- Tranchées.		La Bouzule.	Les Cinq Tranchées.		La Bouzule.
	Espesor de la lámina de agua anual.	Espesor de la lámina de agua anual.		Altura correspondiente a una caída de 100 mm. en Les Cinq Tranchées.	Espesor de la lámina de agua anual.		Espesor de la lámina de agua anual.	Altura correspondiente a una caída de 100 mm. en Les Cinq Tranchées.	
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1889....	629,3	395,4	62,8	228,0	186,6	81,8	857,3	582,0	79,9
1890.....	552,0	436,1	79,0	261,6	193,1	73,8	813,6	629,2	77,3
1891.....	621,5	390,9	62,9	276,6	281,3	101,7	988,1	672,2	74,8
1892.....	693,3	441,5	63,7	295,1	193,6	65,6	988,4	635,1	64,3
1893.....	373,2	287,7	77,1	322,2	217,7	67,6	695,4	505,4	74,0
1894.....	561,1	393,2	70,1	152,1	139,3	91,6	713,2	531,5	74,7
1895.....	452,0	333,4	73,8	518,1	340,7	65,8	970,1	674,1	69,5
1896.....	501,1	419,6	83,7	374,1	241,9	64,7	875,2	661,5	75,6
1897.....	554,9	414,4	74,7	280,7	155,9	55,7	835,6	570,3	68,1
1898.....	367,4	278,0	75,7	364,4	206,5	56,6	731,8	484,1	66,2
1899.....	524,9	466,8	88,9	380,5	266,5	70,0	905,4	733,3	81,0
TOTALES..	5830,7	4257,0	»	3453,4	2422,7	»	9284,1	6679,7	»
Medias....	530,1	387,0	73,0	313,9	220,2	70,1	844,0	607,2	71,9

Resulta de la concordancia de las cifras precedentes que en todas las circunstancias llueve más abundantemente en Cinq-Tranchées que en Amance-la-Bouzule; además, la relación entre las cantidades de agua recogidas es independiente de la dirección del viento. No puede tratarse, pues, de explicar el hecho por la situación del segundo puesto, más alejado que el primero del punto del horizonte, de donde ordinariamente llegan las nubes de lluvia.

El bosque tiene, por consiguiente, una acción real sobre la abundancia de las precipitaciones atmosféricas; tiene el poder de condensar los vapores contenidos en el aire y de aumentar sensiblemente la cantidad de agua meteórica que cae sobre la región

que ocupa. El aumento, con relación á una comarca agrícola vecina es, por otra parte, el mismo cualquiera que sea la posición relativa de esta última.»

Los razonamientos de Huffel no tienen, sin embargo, el valor decisivo que él pretende atribuirles. La situación relativa de las estaciones no es el único factor que entre en juego. Es claro que si las nubes descargan su agua sobre el bosque, la precipitación tendrá que disminuir una vez pasado éste, pues la que haya caído existirá de menos en el aire, que no podrá cargarse de ella de nuevo en tan corto recorrido, y sobre todo en época de lluvia, cuando la evaporación por lo general es escasa. Por el contrario, si el terreno desnudo ha recibido poca lluvia y el aire va cargado de humedad, la precipitación será inminente más tarde ó más temprano y no deberá extrañar verla caer en el bosque si éste se encuentra á su paso. Pero no es posible establecer una relación precisa entre la lluvia recibida por una región y su proximidad ó lejanía del punto hacia donde el viento sopla. El aire arrastrado por éste contiene en cada caso una cierta dosis de humedad, que podrá gastar en su trayecto, y que, una vez agotada, no podrá ya regenerar, á menos de pasar sobre grandes superficies evaporativas y después que hayan variado las condiciones determinantes de la precipitación. Sabemos que la condensación y la caída proceden casi exclusivamente de las corrientes ascendentes del aire, que pueden producirse por el sentido general de la circulación aérea, por las particularidades del relieve del suelo, por el choque de corrientes encontradas y quizás por algunas otras causas más ó menos secundarias. Si alguna de ellas no entra en juego, el aire avanzará sin que la lluvia se produzca y el máximo podrá ocurrir en un punto cualquiera del recorrido. Las corrientes aéreas tampoco encuentran al terreno igualmente orientado cuando soplan en distinta dirección, y los accidentes que en unos casos determinan una corriente ascendente pueden en otros ocasionar tan sólo una desviación lateral. De que con unos y otros vientos las relaciones encontradas sean próximamente las mismas, no se puede deducir que en uno y otro caso sean iguales las causas que originen la diferencia, y si ocurriera, por ejemplo, que con los vientos del Oeste la situación relativa fuera predominante, mientras que para los demás sólo influyeran las demás circunstancias topográficas, el cambio en dicha situación debería acarrear para Les Cinq-Tranchées una lluvia total en el año, de

387,0 + 313,9 = 700,9 milímetros,

y para la Bouzule una de

530,1 + 220,2 = 750,3.

Las conclusiones, en tal caso, deberían ser, por consiguiente, completamente contrarias á las deducidas.

La hipótesis, por otra parte, nada tiene de inverosímil. El bosque de Haye resguarda, seguramente, á las estaciones agrícolas de los vientos que soplan en la dirección de la línea que los une; las precipitaciones que sobre él caen, se encontrarán de menos á sotavento; pero ya no es tan claro que la deficiencia de la lluvia en las estaciones agrícolas para los vientos de otras direcciones sea debida á una dificultad metereológica superada por la eficacia del bosque.

PEDRO M. GONZÁLEZ QUIJANO.

(Continuará.)

(Leído en el Congreso de Madrid de la Asociación Española para el progreso de las Ciencias.)