

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS

PUBLICACION TECNICA DEL CUERPO DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

DIRECTOR

D. MANUEL MALUQUER Y SALVADOR

COLABORADORES

LOS INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

SE PUBLICA LOS JUEVES

Dirección y Administración: Plaza de Oriente, 6, primero, derecha.

La lluvia y los medios propuestos para producirla. ⁽¹⁾

Si no fuera la lluvia la causa única de las aguas terrestres, sería, desde luego, y sin comparación posible, la más importante de todas.

Una moderna escuela alemana, cuyo principal representante es el Dr. Vogler, quería explicar la alimentación de las corrientes subterráneas por la condensación directa en el terreno de la humedad atmosférica.

Pero, aun suponiendo que tal teoría pudiera responder victoriosamente á las grandes objeciones que contra ella se levantan, nunca daría cuenta sino de una parte mínima de las aguas continentales utilizables, y tanto menor cuanto que se tratara de regiones de atmósfera más seca.

Bien puede, pues, prescindirse, y especialmente en España, de esta causa excepcional, y buscar en la lluvia el exclusivo origen de elemento tan esencial para la vida como es el agua, y ello hará comprender la extrema importancia de cuanto á tal fenómeno se refiere, ya se trate de las causas que lo producen ó de los efectos que son sus consecuencias, para ver hasta qué punto podría obrarse sobre las primeras ó en qué medida podrían ser regulados los segundos.

A exponer algunas consideraciones sobre el estado actual de estas cuestiones se dirige la presente nota.

Desde hace mucho tiempo se sabe que la causa de la lluvia reside en el enfriamiento de una masa de aire húmedo.

Dalton precisó más las condiciones del fenómeno, haciendo ver cómo dependía solamente de la temperatura la cantidad de vapor que podía contener un espacio dado y como, por consiguiente, se seguía la condensación á la evaporación, según que esta cantidad se encontrara en exceso ó en defecto.

Mas, recientemente, y sobre todo desde los estudios de Aitken, se ha visto la influencia que en el fenómeno tenían los polvos en suspensión en el aire, y hasta se llegó á sentar que, sin su existencia, toda condensación era imposible por oponerse á ella la enorme tensión del vapor en la superficie de gotitas de mínimo diámetro y de curvatura, por

consiguiente, enorme. Esta tensión, que para un diámetro nulo sería infinita, impediría en su origen la formación de la más pequeña gotita de agua, y de este modo quedarían explicados los fenómenos de sobresaturación ya observados en el laboratorio.

Más tarde se ha comprobado que el papel de los polvos puede ser desempeñado también por los iones negativos, en su defecto por los positivos, y, finalmente, por las moléculas mismas del aire, aunque exigiéndose en estos casos crecientes descensos de temperatura que vengán á contrarrestar las dificultades cada vez mayores del fenómeno inicial.

En definitiva, si el enfriamiento es suficiente, la condensación se inicia, y una vez iniciada alcanzará los límites que las leyes de Dalton le imponen.

Si se quiere, pues, explicar la lluvia, es preciso buscar, en primer término, y en cada caso, la causa de ese enfriamiento.

Dada la poca conductibilidad del aire y su escaso poder emisor, ni el contacto con el suelo, ni la radiación al espacio podrían ser causas de enfriamiento, ni rápidas ni poderosas, y su efecto sería además considerablemente disminuido por el desprendimiento de calor que la condensación deja libre.

Si el aire se mantuviera en calma, sólo se produciría á la larga alguna nubecilla ó alguna ligera niebla, que desvanecería el sol del nuevo día, sin que hubiera tenido quizás tiempo de depositarse en el suelo.

Si el viento soplara, el aire sería arrastrado sin que tuviera tiempo de enfriarse suficientemente.

Durante mucho tiempo se ha creído que la mezcla de dos corrientes de aire de desigual temperatura podría ser causa de lluvias importantes.

Esta teoría, sustentada por primera vez, á lo que parece, por Santiago Hutton, buscaba su confirmación en los experimentos de Dalton respecto á las tensiones máximas de los vapores.

Dada la manera como crece esta tensión con la temperatura, revelada por la curva representativa de la ley, al volver su concavidad hacia el eje donde se cuentan las tensiones, se comprueba inmediatamente que si se mezclan dos volúmenes de aire saturado á temperaturas diferentes, la tensión correspondiente á la temperatura media sería inferior á la que el vapor debería conservar en la mezcla, si no hubiera condensación: será, pues, preciso que, de

(1) Memoria presentada al tercer Congreso de la Asociación Española para el progreso de las ciencias.

acuerdo con los ya citados experimentos de Dalton, la condensación se produzca.

Pero se desprecia demasiado, al hacer estas consideraciones, el desprendimiento de calor que acompaña á la condensación, y que sería suficiente para reducir de un modo considerable la cantidad condensada, y aun para impedir en absoluto toda condensación, á poco alejados que ambos volúmenes se encuentren del punto de saturación.

Por otra parte, el vapor condensado sería siempre muy pequeño en comparación con el contenido en el aire, y como además los volúmenes que se mezclen no pueden ser tampoco considerables, sin dar lugar á corrientes en sentido vertical por donde escaparan los volúmenes mezclados, dejando sitio á nuevos volúmenes, y tales corrientes pueden tener, como veremos en seguida, influencia mucho más considerable en el fenómeno, fácilmente se comprenderá que el efecto que ahora estudiamos tiene que ser por sí solo limitadísimo é incapaz de producir una lluvia de alguna intensidad, aunque no deje de tener importancia, en ocasiones, en la formación de las nieblas.

Cuando los principios de la termodinámica no eran tan generalmente conocidos, algunos meteorólogos, muy notables por otros conceptos, han querido ver en las corrientes descendentes de aire frío una causa de lluvias abundantes, que se producirían por el mismo mecanismo que acabamos de examinar.

Tal hipótesis adolece, sin embargo, del error fundamental de suponer que el aire al descender conserva su temperatura inicial, cuando antes, por el contrario, la aumenta al ser comprimido por el aire inferior entre el que se interpone y con quien se mezcla.

No podría hacerse idéntico reproche á la opinión que sostiene que podría provocarse la condensación del vapor del aire por la caída de una lluvia fría, de una nevada ó de una granizada.

En realidad, al caer en el aire la gota de lluvia, el copo de nieve ó el granizo se calientan también por el rozamiento que experimentan y que transforma en calor la mayor parte de la energía representada por la caída; pero el aumento de temperatura que de aquí resulta es siempre menor que el que corresponde al aire para pasar de una á otra altura.

Admítase, en efecto, que una diferencia de nivel en la atmósfera de 100 metros equivale á una de temperatura de 0,6° próximamente, por lo menos hasta alturas de mucha consideración (unos 10 kilómetros), y en cambio, aun en el supuesto de que la gota de agua absorbiera todo el calor que representa su caída, sin que cediera nada al aire que atraviesa, necesitaría recorrer 424 metros, según la vertical, para que su temperatura creciera en 1°. Por cada 424 metros de caída habrá, pues, de diferencia de temperatura entre la gota y el aire 1,54°, y para una caída total de 4 ó 5 kilómetros, alturas medias de los alto-cúmulos, se tendría en definitiva una diferencia de temperatura de unos 17°.

Tal diferencia, sin embargo, no podría ocasionar un gran aumento de condensación, pues dado que el calor desprendido asciende á unas 600 calorías por kilogramo de agua, basta una simple división para averiguar que el paso por el aire húmedo sólo podría aumentar en un 3 por 109 próximamente el volumen total de la precipitación; la cau-

sa de la lluvia inicial sería, pues, la más importante y la que habría que investigar de preferencia.

Si, pues, ni los cambios, por decirlo así, estáticos de calor, ni los provenientes de corrientes horizontales, ni descendentes pueden ser causa de grandes lluvias, sólo nos quedan por examinar las corrientes ascendentes, y es, en efecto, en ellas donde se encuentra la explicación del fenómeno.

Parece haber sido Peslín quien, por primera vez en 1867, ha llamado la atención sobre esta poderosa causa mecánica de enfriamiento.

Sin pérdida ni ganancia de calor, siguiendo una transformación *adiabática*, el aire que se dilata realiza un trabajo exterior á costa de su calor propio, y su temperatura, por consiguiente, disminuye.

Si suponemos que un metro cúbico de aire á la presión ordinaria de 760 milímetros de mercurio, ó sea de 10.336 kilogramos por metro cuadrado, asciende 5.700 metros, con lo que su presión se reducirá próximamente á la mitad, según la conocida fórmula de Laplace, tendremos, aplicando la expresión del trabajo en la transformación *adiabática*, que el que habrá realizado será:

$$T = \frac{10.336}{m-1} \left(1 - \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{m-1}{m}} \right)$$

donde m representa la relación entre los calores específicos á presión constante y á volumen constante que vale, como es sabido, 1,41.

Hechas las operaciones, resulta en definitiva que ese trabajo es de 4.590 kilogramos, equivalentes á 10,82 calorías, que son próximamente las que dejarían libres al condensarse 18 gramos de vapor. No llegaría á tanto la condensación, porque parte del trabajo sería efectuado á expensas del calor sensible.

Si la temperatura inicial fuera, por ejemplo, de 25° y el aire partiera saturado, contendría por metro cúbico 22,83 gramos, y llegaría á la altura final con 11° próximamente, habiendo abandonado unos 13 gramos de vapor; que habrían dejado libres cerca de 8 calorías, procediendo el resto del descenso de temperatura de 25° á 11°. En estas condiciones, si suponemos tan sólo una corriente de un metro por segundo de velocidad ascendente, se tendría una condensación de 47 kilogramos por hora, equivalente á una lluvia de otros tantos milímetros, que sería en nuestro clima verdaderamente excepcional.

Producida la condensación, todavía será preciso, para que la lluvia tenga lugar, que el agua condensada se precipite. Con bastante frecuencia manteniéndose en suspensión formando nubes, y este fenómeno ha ejercitado en otro tiempo la imaginación de los físicos, que trataban de explicar cómo podían mantenerse en la atmósfera gotas líquidas, cuya densidad era muy superior á la del medio que las rodeaba. Ideáronse para ello varias hipótesis, y entre otras, la de suponer que las minúsculas gotitas de la nube ó de la niebla estaban constituidas por una delgada película líquida, que contenía una atmósfera interior de vapor, de donde el nombre de *vesículas* que se les dio y el de *vapor vesicular* aplicado á la materia que constituía la nube.

Hoy se ha comprobado que tales vesículas serían incompatibles con las leyes de la capilaridad, y se sabe que el efecto es producido por la resistencia del aire al movi-

miento de la gota que, creciendo, para la misma velocidad, con el cuadrado del diámetro de la misma mientras su peso, que es la fuerza que tiende á hacerla descender, crece como el cubo de dicha dimensión ocasiona en definitiva un enfrenamiento, tanto mayor cuanto que la gota es más pequeña. La velocidad resulta, según esto, una función del tamaño y, para diámetros de $\frac{1}{50}$ de milímetro, como los que han podido medirse, quedaría reducida á 13 milímetros por segundo, velocidad tan insignificante, que el menor soplo de aire sería suficiente para contrarrestarla.

Dedúcese de esta explicación que la suspensión de las gotitas es más aparente que real, y que la nube, que á nuestra vista aparece inmóvil, no es con frecuencia sino la región que reúne las condiciones que hacen la condensación posible, mientras su materia está sin cesar renovada.

Dedúcese también que la lluvia no podrá producirse, sino cuando las gotas alcancen suficiente volumen para que puedan adquirir una velocidad conveniente. Esto ha hecho suponer á algunos que tras la fase de condensación es indispensable en el fenómeno de la lluvia una segunda fase de agregación, suponiendo que ésta se hallara contrariada en la nube por causas especiales y, particularmente, por repulsiones eléctricas que impidieran la fusión de varias gotitas en una sola. No se podría negar en absoluto la posibilidad de tales efectos; pero su acción debe ser muy limitada y transitoria.

Sabido es que el aire húmedo, como es el contenido en la nube, no es suficientemente aislador, y por esta causa, la carga de las gotitas líquidas cuyo diámetro, además, es tan reducido, tendería á escapar hacia la superficie de la nube, sin que en su interior pudieran desarrollarse acciones eléctricas de importancia.

Es probable que si la nube puede mantenerse durante mucho tiempo sin precipitarse en lluvia, esto depende solamente de la escasa cantidad de agua que encierra y que se tiende á exagerar á la vista del considerable volumen que ocupa.

Se calcula que el volumen de agua contenido en una niebla no excede de 2 á 3 gramos por metro cúbico de aire, y aun es posible que sea menor en la nube, pues parece natural que en las inmediaciones del suelo la densidad de la niebla sea mayor que en las alturas. Pues á razón de 2,5 gramos por metro cúbico, sería preciso un espesor de nube de 400 metros para tener el equivalente á una lluvia de un milímetro.

Por otra parte, la distancia entre las gotas es relativamente grande, próximamente 60 veces su diámetro, y en estas condiciones no parece difícil que los choques sean raros.

Cuando el enfriamiento continúa pueden las mismas gotitas aumentar de volumen por condensación directa sobre su superficie, puede aumentar también el número de las gotas, haciéndose con ello más frecuentes las colisiones, y por unas y otras causas llegarán á alcanzar la velocidad precisa para que su llegada al suelo quede asegurada.

Explicase así que las nubes sean los heraldos de la lluvia, y que sólo cuando su masa llega á ser muy considerable la precipitación se produzca, sin necesidad de recurrir á fuerzas extrañas y más ó menos misteriosas, á las que

suele tenerse en ocasiones más afición de la científicamente debida.

Una vez iniciada la lluvia, las gotas líquidas, solicitadas por su propio peso é impulsadas por las corrientes aéreas de las regiones atmosféricas que atraviesan, seguirán su camino hacia el suelo, siguiendo trayectorias más ó menos tortuosas, según el valor relativo de la acción predominante; de aquí la considerable influencia del viento en su repartición sobre el terreno.

A esta causa parece que deba atribuirse la diferencia, á menudo importante, observada entre las indicaciones de pluviómetros próximos.

Clásico es el ejemplo, con frecuencia citado, de los dos pluviómetros del Observatorio de París, situados, el uno en la azotea, y el otro en el patio, con un desnivel relativo de 27 metros, y cuyas recogidas medias, durante el decenio de 1817 á 1827 fueron respectivamente de 500 y 570 milímetros.

La explicación que se ha pretendido dar del fenómeno, suponiendo que la diferencia dependiera del agua que hubiera podido condensarse sobre las gotas durante el recorrido de esos 27 metros, es totalmente inadmisibile, pues esa condensación dejaría libre una cantidad de calor suficiente para elevar en 75° la temperatura del agua, sin que hubiera posibilidad tampoco de disipar en tan cortos tiempo y trayecto una cantidad de calor tan considerable.

En cambio, nada más fácil que darse cuenta del efecto del viento. La acción de la velocidad, sumada á la resistencia propia del medio, contribuye á prolongar la suspensión de las gotitas más tenues, cuya precipitación será favorecida allí donde el viento falta ó donde su intensidad disminuya, ó donde aumente la de su componente normal al suelo. El fenómeno será enteramente comparable al del depósito de las materias en suspensión en una corriente de agua, que se acumulan con preferencia, á igualdad de las demás circunstancias, allí donde la profundidad aumenta. La lluvia, según esto, deberá ser mayor donde el terreno presente su concavidad al viento, y esto es precisamente lo que parece observarse.

Las mismas consideraciones podrían dar la razón del hecho observado en ocasiones, aunque sin la constancia é importancia que algunos le atribuyen, de recogerse alguna más agua en pluviómetro colocado en un bosque que en otro situado en un terreno descubierto contiguo (observaciones de Mathieu en Nancy).

La atenuación de la violencia del viento hasta una cierta altura, nada considerable por cierto, sobre los terrenos arbolados sería suficiente para explicar el hecho, y mucho más si las circunstancias topográficas precisas de los lugares, no muy bien determinadas en los trabajos que mencionan dichas observaciones, vinieran á favorecer las diferencias de precipitación.

En cuanto precede hemos procurado resumir nuestros conocimientos actuales sobre las causas de la lluvia y las circunstancias más ó menos influyentes en el fenómeno. Del juego de unas y otras acciones depende su distribución entre las distintas regiones del planeta, y el pluviómetro, en cada punto, después de un cierto número de años de observación, nos da una media, más ó menos característica, que permite la comparación, desde este punto de vista, entre los distintos lugares.

No hemos de detenernos en esta comparación, que saldría fuera del marco en que hemos procurado encerrar

nuestro trabajo; pero sí será bueno hacer observar que tales medias, como productos artificiales que son, sólo tienen una existencia puramente matemática, y si pueden en ocasiones dar alguna idea útil cuando se trate de fenómenos de marcha concordante, se exponen también con frecuencia á errores de consideración.

No hay que olvidar, por otra parte, que en los fenómenos que tienen influencia sobre la vida, cuando desde este punto de vista los estudiamos, no es posible acumular sus magnitudes puramente físicas, dando á todas igual valor. Antes por el contrario, los organismos, al procurar adaptarse al medio en que viven, reducen su desarrollo en la medida que lo permite el elemento más escaso de los que para vivir necesita, notable propiedad puesta en plena luz por los modernos estudios sobre la nutrición de las plantas y que ha recibido el expresivo nombre de *ley del mínimo*.

No es, pues, tanto la media como los límites y la variabilidad del fenómeno los que son interesantes, y en este punto las diferencias suelen ser de consideración, aun entre localidades cuyas medias no son muy diferentes.

Hay sobre todo que guardarse de comparar las medias observadas en estaciones de distinta latitud y sometidas á un régimen de vientos diferentes, y esta consideración es tanto más importante en España, donde á falta de observaciones propias, hay cierta tendencia á recurrir á las ajenas, sin antes someterlas á una discusión detenida, imprescindible para una elección racional.

Como comprobación de esta verdad bastará citar algunos ejemplos.

Entre 1805 y 1910, la lluvia media del año agrícola ha sido en París de 547 milímetros, fluctuando entre 775,8 (1909-10) y 341,2 (1883-84) (1); la relación entre los dos límites es sólo de 2,274 en un lapso de tiempo de ciento cinco años.

Durante el mismo período se han hecho observaciones en el Observatorio de la Marina de San Fernando.

Los resultados obtenidos se encuentran publicados, en su mayor parte, en la obra del Sr. Bentabol *Las aguas de España y Portugal* (2), y hemos podido completarlos con datos obtenidos del Sr. Director del Observatorio.

No alteran los nuevos datos los resultados que respecto á la variabilidad se deducen de los consignados por Bentabol; no podrían alterarlos, si no fuera exagerándolos, los que dicho señor deja de consignar, por tratarse de años en que no se hicieron observaciones completas.

Pues bien, para una media anual de 634 milímetros, las precipitaciones anuales oscilan entre 286 (1806) y 1.262 (1855), y la relación entre los dos límites se elevaría á 4,413.

Todavía mayor variabilidad se observa en los datos recogidos en el Observatorio de la guarnición de Gibraltar, citados también por el Sr. Bentabol en su mencionada obra (pág. 51).

Empezaron las observaciones en Agosto de 1790, y las consignadas por el Sr. Bentabol comprenden ciento nueve años, plazo poco superior al anterior.

La media es de 839 milímetros, y los límites extremos

de 384 (1800-01) y 1.985 (1855-56), con una relación de 5,170.

Aún podría observarse que mientras en París la media general (547) coincide casi con la media aritmética entre el máximo y el mínimo (558) en San Fernando, y más todavía en Gibraltar, se apartan considerablemente de los correspondientes términos medios, que son respectivamente 774 y 1.884; la relación entre ambas medias pasa así de 1,021, que es en París, á 1,221 en San Fernando y á 1,411 en Gibraltar, al compás de la variación ya revelada por las relaciones entre los límites.

Dedúcese de aquí que, puesto que los máximos tienen una menor influencia que los mínimos en la media final, han de ser los más frecuentes los años que queden por bajo de la media, y así, mientras en París hay cincuenta y cuatro años por debajo y cincuenta y uno por encima, en San Fernando la misma relación es de cincuenta y cuatro á cuarenta y en Gibraltar de sesenta y tres á cuarenta y cinco.

Si á estas consideraciones se añade que la temperatura media es mayor en el Sur de España que en París, y que la repartición de la lluvia es muy diferente en el año, se comprenderá como, á pesar de mayores precipitaciones medias, puede nuestra región ser relativamente seca, mientras en París no hay motivo de notar el exceso en uno ni en otro sentido.

La importancia de las variaciones suele reducirse hasta casi eliminarse en las medias de un número suficiente de años, lo que permite una compensación que será tanto más de tener en cuenta, cuanto que tenga lugar en un plazo más corto. También en este punto existe una desventaja considerable entre las localidades españolas citadas y otros puntos de la Europa media. En Londres, Binnie ha calculado que bastaba tomar la media de treinta y cinco años consecutivos para tener la media verdadera, con un error menor del 2 por 100 (1); es una observación más para confirmar las ideas de Brückner sobre los períodos meteorológicos.

Pues bien; si se suman las precipitaciones recogidas en San Fernando durante treinta y cinco años consecutivos, á pesar de no poderse formar más que 27 series, porque las observaciones no se han proseguido sin interrupción, sino desde 1850, resulta entre el máximo y el mínimo una relación de 1,198. En las observaciones de Gibraltar, donde las series pueden llegar hasta á 75, la relación sube á 1,222.

Es una variabilidad extrema en la que parece difícil no ver la influencia de la especial situación de la provincia de Cádiz colocada entre dos mares, como para servir de tránsito entre el régimen oceánico y el régimen mediterráneo.

Pero si tales diferencias pueden existir entre las precipitaciones de años diferentes, no hay que creer tampoco en la equivalencia, ni aun en un mismo lugar, de dos años marcados por una misma precipitación. La misma cantidad de agua no produce iguales efectos si cae en un solo aguacero ó si es distribuida entre varias lloviznas, separadas por períodos de buen tiempo. En el primer caso, podrá quizás empapar el suelo y ocasionar crecidas en las corrientes y manantiales; en el segundo, humedecerá tan

(1) Klein. *Météorologie agricole et prévision du temps*. - París, 1911, pág. 187.

(2) Madrid, 1900, pág. 50.

(1) Debanve et Imbeaux. *Distributions des eaux*, tomo II, pág. 30.

sólo la superficie del terreno ó mojará las hojas de las plantas, evaporándose en seguida.

Es preciso, pues, un mínimo de lluvia para que sus efectos útiles empiecen á ser apreciables. Ha de alcanzar, por lo menos, la cifra de la evaporación, y he ahí por qué es cosa sabida que las lluvias de verano no suelen aprovechar á los manantiales, ni son tampoco de gran utilidad para las plantas que necesitan el agua por su raíz más que por sus hojas.

Este límite mínimo varía con los lugares y con las estaciones, pero si se tiene en cuenta que en España, por lo general, la evaporación observada en el evaporímetro excede considerablemente á la lluvia, se comprenderá que de tal modo podría quedar ésta repartida en el año, que su efecto fuera absolutamente nulo, aunque la cifra total excediese bastante de la media.

Pero si existe un mínimo, hay también un máximo, y las lluvias extraordinarias que agotan la capacidad del suelo y provocan la formación de grandes avenidas no deberían ser contadas, sino por el volumen que en el terreno queda y que puede ser una fracción muy reducida del que se calculara, atendiendo tan sólo á los datos del pluviómetro.

La extrema variabilidad de la lluvia y la estrechez de las condiciones que cumplir debe, para que el hombre pueda sacar de ella el máximo efecto útil, ha hecho pensar más de una vez en los medios que podrían ponerse en práctica para modificar el fenómeno en su provecho, y como es la sequía la que con más frecuencia hay que lamentar, sobre todo en climas como el nuestro, es á la producción y aumento de las lluvias á lo que principalmente se ha prestado atención.

Los medios propuestos han sido muy varios, pero sólo hemos de ocuparnos, y eso brevemente, de los que han sido presentados por personas de cierta competencia y han llegado á interesar más ó menos á la opinión pública.

No hace muchos años, se pensó en la inundación por las aguas del Mediterráneo de algunos *chotts* argelinos y tunecinos, con la esperanza de cambiar por este medio el clima de las próximas regiones del Sahara.

No es probable que se hubiera conseguido otra cosa que la formación de inmensas salinas que, si hubieran enviado á la atmósfera cantidades de vapor no despreciables, hubieran sido impotentes para cambiar la circulación atmosférica de esta región africana, que es la causa principal de su extremada aridez.

Algún débil incremento en la humedad del aire, imperceptible á corta distancia de la zona de evaporación, y, á lo sumo, alguna circunscrita tormenta de calor, donde las condiciones topográficas de las inmediaciones de esos lagos favorecieran la producción del fenómeno. Ese sería el resultado meteorológico que podría esperarse de una empresa colosal.

Si cupiera alguna duda, no habría más que llevar la atención á ambas orillas del mar Rojo, donde el proyecto está realizado, y por cierto en grande escala.

No siempre se encuentran depresiones que inundar: pero si se puede conquistar las alturas para la evaporación por medio del arbolado, y esta solución ha sido propuesta también para aumentar la entidad de las lluvias en una comarca; mas si la formación de grandes lagos sería insuficiente, como acabamos de ver, para provocar lluvias de

importancia, ¿qué podría esperarse de los bosques á este respecto? Allí, al menos, el agua venía del mar; podría quizás esperarse que, después de evaporada, encontrara condiciones favorables para condensarse; aquí no habría aportaciones nuevas; el agua evaporada habría de proceder de lluvias anteriores, ¿no hay en ello una evidente petición de principio?

En el último Congreso internacional de Agricultura, y poco después, en una conferencia dada en el Ateneo de Madrid, he procurado demostrar la ineficacia de los bosques para cambiar el régimen meteorológicos de una región.

No he de insistir, pues, sobre este punto, que para ser desarrollado con toda la extensión que exigirían los argumentos aducidos por la parte contraria, necesitaría un más amplio espacio del que en este trabajo puedo disponer; pero antes de dejar el tema he de hacer una observación general á todos los sistemas que fundan en la evaporación el medio de aumentar la pluviosidad.

La evaporación por sí sola, si da materiales para la lluvia, no puede contribuir en manera alguna á la iniciación ni al mantenimiento de la corriente ascendente, que hemos reconocido indispensable, para que la precipitación sea abundante y, por consiguiente, eficaz.

Antes, por el contrario, la evaporación viene á rebajar la temperatura ambiente y ha de provocar más bien el descenso que la subida del aire; sólo ocurrirá lo contrario cuando la evaporación sea producida por el desprendimiento de una considerable cantidad de calor; así, por ejemplo, son frecuentes en América los casos de lluvias consecutivas del incendio de un bosque ó de una pradera; pero hay que reconocer que éste es un medio poco práctico de producir la lluvia.

En otro orden de ideas, se ha pretendido también dirigir hacia el cielo todos los medios de destrucción que ha llegado á acumular la loca ambición de los humanos, pensando que las violentas conmociones habrían de producir la agregación de las gotitas líquidas de la nube ó la condensación, por los humos, del vapor contenido en el aire sobresaturado, derramando uno y otras sobre la tierra en lluvia bienhechora.

Los experimentos hechos en los Estados Unidos en 1893, á propuesta del General Dyrenforth, no fueron nada concluyentes, y el servicio meteorológico de los Estados Unidos les ha negado todo valor científico (1). Ya experimentos anteriores habían dado ocasión á una espiritual crítica de Mr. Henry de Varigny en la *Revue des Deux Mondes* (2). El fracaso era fácil de prever; los efectos, cualesquiera que fueran, de las grandes explosiones, antes de llegar á las nubes, habían de difundirse de tal modo, que habían de perder su eficacia con la distancia, distancia vertical no inferior á 1.000 metros, pues no merecen gran fe las medidas menores, que sólo podrían referirse, por otra parte, á tiempos húmedos, en los que no sería necesaria la intervención de la artillería meteorológica.

La sobresaturación del aire no puede ser tampoco sino un fenómeno excepcional, y en cuanto á la precipitación del agua de las nubes visibles, ya hemos visto que sólo podría dar lugar, cuando no se produce espontáneamente, á una caída de lluvia verdaderamente insignificante.

(1) Dienert. *Hydrologie agricole*. París, 1907, pág. 234.

(2) 1.º de Septiembre de 1892.

En resumen, que la acción del hombre sobre las lluvias es, por lo menos actualmente, limitadísima. Para que fuera eficaz, sería preciso encontrar el medio de provocar grandes corrientes ascendentes ó de producir en las alturas enfriamientos bastantes para condensar el vapor contenido en la atmósfera.

Parece que, si esto fuera posible, sería más práctico emplear la misma energía en producir una llamada de aire y enfriarlo por los mismos medios, obteniendo así el agua que necesitáramos.

No puede calificarse el empeño de totalmente imposible; pero, dados nuestros actuales elementos, estaría fuera de toda comparación con los resultados obtenidos.

Una sencilla reflexión bastará para demostrarlo. Prescindiendo de la energía necesaria para poner el aire en movimiento haciendo caso omiso de la que haría falta para conducirlo, enfriándolo á punto de saturación sería preciso por lo menos absorber el calor de condensación que, como se sabe, es para las temperaturas ordinarias de cerca de 600 calorías por kilogramo de agua.

Suponiendo que fuera igualmente fácil añadir que sustraer calor, no reconociendo valor alguno á los gastos de instalación y admitiendo que las pérdidas de energía habían de ser nulas, ó que el coeficiente de rendimiento fuera precisamente la unidad, todavía necesitaríamos por metro cúbico 600.000 calorías, que son el equivalente de 75 kilogramos de hulla, por lo menos; á 5 céntimos el kilogramo, y no sería un precio excesivo para la mayor parte de España, el del metro cúbico de agua se elevaría á 3,75 pesetas.

Sólo la explotación de riquezas considerables como la de los placeres auríferos de la Alaska permitirían comprar el agua á ese precio, y para eso, en la cantidad indispensable para la bebida y usos domésticos que, mejor ó peor, ya se encuentran servidos en la mayor parte de los lugares habitados.

Hay, pues, que renunciar por hoy á toda idea de modificación del régimen de las lluvias y concentrar todo el esfuerzo en la mejor utilización del agua que llega al suelo, ya aprovechándola directamente en el sitio en que cae por medio de inteligentes labores, ya embalsándola y distribuyéndola por obras adecuadas para poder hacer frente á las deficiencias de la estación seca.

Que nos reserve el porvenir y hasta qué punto el abaratamiento de las fuerzas y el conocimiento cada vez más perfecto de las leyes naturales permitirá al hombre en lo futuro abordar empresas que exceden hoy á su limitado esfuerzo, cuestiones son á las que no es fácil dar una contestación razonada. Ya decía Ampere que la palabra imposible debía ser borrada del diccionario de las ciencias; pero si esa consoladora idea puede dar ocasión á hermosos sueños, no debe hacernos cerrar los ojos sistemáticamente á la realidad, que si es el sueño reparador, descanso y obligada tregua en el constante y penoso batallar de las luchas por la existencia, no hay que olvidar tampoco que, imagen de la muerte, su duración indefinida acabaría por identificarle con su modelo.

PEDRO M. GONZÁLEZ QUIJANO.

La mecánica estereotómica.

(CONCLUSIÓN)

En los puentes ó viaductos, y, en general, en las obras sujetas á la acción trepidante de grandes cargas rodadas, sucede un fenómeno análogo.

Generalizando, pues, la observación anterior, hay que proceder á un despiezo por juntas normales á las diversas evoluciones de la línea potencial de acción externa, único medio que poseemos para anular la componente de aquella línea sobre las superficies de junta.

La línea potencial es independiente del despiezo; pero vemos como éste puede provocar descomposiciones en los vectores que por su envolvente configuran aquella línea, de cuyo fenómeno emana precisamente la esencia científica del aparejo, como ya previó el gran Adhemar en sus célebres refutaciones á los sistemas de construcción de los pasos oblicuos, que en un principio propuso Clapeyron. Esta idea, suficientemente generalizada, viene indudablemente á orientarnos por el camino que conduce al descubrimiento de una relación, con seguridad existente entre el aparejo, el equilibrio y la línea potencial de una estructura; la determinación completa de esta relación misteriosa nos revelaría la regla abstracta del despiezo mecánico de las formas estereotómicas... pero el problema no está hoy todavía resuelto.

Existe ordinariamente una confusión lamentable entre el aparejo y la labra de las piezas; significa de ordinario la Estereotomía, el conjunto de operaciones gráficas conducentes á la obtención de todos los datos determinativos de los sólidos; con frecuencia complicados, que configuran las piezas de la estructura dovelar; significa además la Estereotomía el orden de operaciones y la factura material de las mismas, para arrancar de la entraña del bloque informe al complejo poliedro matemático que contornea la dovela... Todo esto no es estereotomía, en el aspecto lógico de la ciencia estructural del despiezo; todo esto es, sencillamente, una *estereografía*, un arte de dibujar y obtener sobre un solo plano los elementos estéreos pertenecientes á formas de sólidos más ó menos complicados. Desde este punto de vista, en efecto, la ciencia estereotómica ha revestido ya del carácter definitivo de doctrina clásica y constituida, como lo indica claramente el que desde la formación de la Geometría descriptiva, en el siglo pasado, viene la estereotomía figurando como asignatura consabida en las Escuelas de construcción existentes en todo el mundo... De ordinario, no se paran mientes en el fondo mecánico del problema, á no ser por los pequellos detalles de orden puramente práctico, como, por ejemplo, el consejo de evitar las juntas dobles, los ángulos agudos, etc., etc.; pero respecto á la mecánica del aparejo, circunstancia esencial que es precisamente la base del equilibrio, no se dice nada general y concreto, y, sin embargo, la primordialidad de la cuestión es evidente que está en la resolución de aquel equilibrio por virtud de alguna ley que ligue las fuerzas externas con el despiezo que se adopte.

Se objetará tal vez que existen reglas clarividentes, de carácter general, que, apoyándose en propiedades geométricas de las superficies estructurales, dictan el aparejo de éstas; conforme; pero estas reglas, dictadas por el sor-