

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 supuesta influencia de los montes en la lluvia

por

D. PEDRO M. GONZÁLEZ QUIJANO, INGENIERO (1)

I

Hay opiniones é ideas que, á fuerza de ser repetidas y de ser escuchadas, llegan á considerarse como verdades inconcusas, y á ser admitidas sin el menor examen. Si á ello se añade que puedan llegar á ofrecer una cierta apariencia científica, su prestigio sube de punto, y el negarlas puede aparecer temerario atrevimiento ó ignorancia inexcusable. Es lo que ocurre, á mi juicio, con la generalizada creencia de que los bosques pueden influir de modo considerable en la formación y en la distribución de la lluvia.

El ver con frecuencia unidas en la misma región la existencia de espesas y frondosas arboledas con la humedad del clima ha sido motivo, sin duda, para que se tome el efecto por la causa, y cuando confusas é incompletas ideas meteorológicas han prestado aspecto de verosimilitud á la pretendida influencia, ésta se ha considerado ya demostrada de modo concluyente y definitivo.

En vano se presentaban excepciones harto significativas, como esas Islas Británicas que, con ser de los países más húmedos de Europa, son también de los de menor riqueza forestal. Siempre podrán pensar los convencidos que todavía llovería allí más si hubiera más árboles. En vano muchos hombres de ciencia llamaban la atención sobre la incongruencia de ciertos razonamientos: la convicción estaba formada, y, cuando así ocurre, más se atiende á un indicio favorable que á serios argumentos contrarios.

No tengo yo por qué ser más afortunado; pero llevo, sin embargo, una ventaja, y es la de dirigirme desde las columnas de este *Boletín* á un público ilustrado, conocedor y practicante de los severos métodos de la ciencia.

Toda la teoría de la lluvia forestal puede reducirse á muy pocas palabras: los árboles exhalan constantemente por sus hojas, y muy especialmente de día, grandes cantidades de vapor de agua. Como consecuencia de esta evaporación, como consecuencia también de las reacciones endotérmicas que determinan la fijación del carbono, y por impedir que llegue directamente al

suelo la radiación solar, el árbol es también causa de enfriamiento. Una atmósfera más húmeda y más fría se encontrará más cerca de su punto de saturación: la lluvia será, por consiguiente, más frecuente y las precipitaciones más abundantes. Al primer golpe de vista, el argumento parece concluyente. No es extraño, pues, que haya hecho fortuna.

Pero, si se examina más detenidamente, la primera duda que se ofrece es que, si el bosque evapora, no puede al mismo tiempo condensar. Son dos acciones antitéticas que se contrarrestan, y entre las cuales, y en ausencia de causas exteriores, tendría forzosamente que establecerse un equilibrio y este equilibrio se establecería, en ausencia, repito, de toda acción exterior, cuando el aire se encontrara saturado de humedad.

Entonces, aun cuando las acciones vitales que provocan la transpiración y la clorovaporización pugnan por producir nuevos vapores, éstos no podrían difundirse en el aire ambiente, y quedarían inmediatamente condensados, no bajo forma de lluvia, sino bajo forma de humedad más ó menos copiosa, que quedaría depositada sobre la superficie misma de las hojas. Todo lo más, el monte se vería envuelto en una niebla constante.

No es esto sólo. Para que el árbol evapore, es preciso que saque el agua de alguna parte: el árbol no la crea, y, en efecto, la saca por sus raíces del suelo, adonde había llegado de una lluvia anterior. Aun suponiéndola en el suelo en un momento dado, el monte no sería suficiente para mantener indefinidamente este juego de evaporaciones y condensaciones, porque parte de la que cayera descendería por filtración á las profundidades no alcanzadas por las raíces, ó correría por la superficie en busca de los desagües naturales. Por pequeñas que fueran estas pérdidas, por lentas que fueran en producirse, al tener lugar de una manera continua, provocarían una desecación progresiva del terreno y con ella, al cabo, la pérdida completa del arbolado. Sólo podrían escapar á este trágico fin los montes en llanura de subsuelo absolutamente impermeable.

Si estos fenómenos no tienen lugar, si ni el suelo se deseca, ni la niebla es constante, ello procede de que las pérdidas de agua son compensadas por las aportaciones de los *vientos húmedos*, y porque los vapores exhalados por el bosque son arrastrados por los *vientos secos*. Es, pues, el viento el que domina, y cuando eso ocurre, el volumen de aire que se pone en contacto con el bosque es tan considerable que ni aumentan *sensiblemente* su humedad los vapores por los árboles exhalados, ni su temperatura es *apenas* influida por las causas de enfriamiento mencionadas más arriba. En resumen, que en un aire en equilibrio el

(1) Publicado en el *Boletín de la Sociedad Astronómica de Barcelona*.

bosque no produce lluvia y en un aire en movimiento la pretendida influencia térmica é higrométrica se difunde de modo que llega á ser completamente despreciable. Con razón, pues, pudo decir Cezane que los bosques deben contarse *entre los infinitamente pequeños de la Meteorología*.

Aun podría, sin embargo, caber alguna duda. El viento húmedo es evidentemente necesario para que la lluvia se produzca; ¿pero no podría ocurrir que el bosque contribuyera por modo poderoso á provocar la precipitación? La precipitación es la consecuencia de la condensación, y la condensación el resultado del enfriamiento. Para resolver el problema será preciso determinar cómo y por qué se enfría el aire. De todos es sabido cuán escasa es la conductibilidad de los gases, y del aire especialmente; su poder radiante no es más digno de ser tenido en cuenta. Ni el contacto ni la radiación serán, pues, suficientes para producir efectos apreciables. Además, la lluvia es esencialmente un fenómeno discontinuo y no puede ser debido á esas causas lentas de variación de temperatura. Por eso desde antiguo se han buscado para explicarla fenómenos más ó menos bruscos, como aquellas mezclas de corrientes encontradas, á las que atribuía Hutton la condensación, explicación que parecía confirmada por las leyes de Dalton, de las que se deducía que la humedad relativa de la mezcla de dos volúmenes de aire á distinta temperatura era siempre superior á las humedades relativas de los volúmenes componentes. No se tenía, sin embargo, suficientemente en cuenta el calor considerable que la condensación produce, y todo bien considerado se reconoce hoy que las mencionadas mezclas no pueden en ningún caso ser causa de lluvias importantes.

La explicación que hoy domina en la ciencia es muy otra. La única causa de enfriamiento que se admite hoy como verdaderamente poderosa para producir la lluvia es la expansión del aire cuando la presión disminuye; realizase entonces un trabajo á expensas de la energía calorífica de la masa, y su temperatura necesariamente descende. Puede la presión disminuir en sentido horizontal al pasar de una á otra isobara, pero donde realmente la disminución puede ser rápida y considerable es en el sentido vertical, y por eso es á las corrientes ascendentes del aire á las que se concede hoy el papel preponderante en la producción de las lluvias, y según cómo la corriente ascendente se produzca así se dividen las lluvias siguiendo la clasificación de Curtis en *lluvias de convección*, cuando la corriente se eleva vertical á consecuencia del calentamiento rápido producido por la acción solar (lluvias tropicales de la región de calmas); *lluvias de relieve* cuando la corriente, horizontal en su origen, se convierte en ascendente al chocar contra un macizo montañoso; *lluvias ciclónicas* cuando la corriente se establece en espiral alrededor del eje de la depresión barométrica (1). En todos estos colosales fenómenos es evidente que la acción, meramente superficial y restringida del bosque, no puede tener influencia.

Pero todavía sus entusiastas partidarios no se dan á partido, y aun reconociendo muchos de ellos que la acción es pequeña (un 8 ó un 10 por 100 me escribía el profesor Henry, Subdirector de la Escuela forestal de Nancy), pretenden que puede llegar á tener cierta limitada influencia, cuando aquellas otras causas tan poderosas no entran en juego, y, á este propósito, se ha dado importancia considerable á las observaciones que se dicen hechas por ciertos aeronautas que, al pasar por encima de ciertos bosques, han creído experimentar un sensible enfriamiento. La observación no ha llegado á tener, que yo sepa, confirmación ni exposición verdaderamente científicas. El documento más autén-

tico que he podido tener á la vista respecto á este maravilloso efecto, y en discusiones recientes con distinguidos forestales no han llegado tampoco á presentarme otros más fehacientes, es una carta del entonces Comandante Renard á M. Henry con motivo del Congreso internacional de Selvicultura de París de 1900 (1). En esa carta se confesaba que el tal enfriamiento *no había sido nunca medido con el termómetro*; pero que se traducía por un descenso muy marcado del globo; aunque tampoco se explica muy bien cómo ese descenso puede producirse, pues si el aire está más frío, mejor parece que deberá subir el globo y no bajar.

Alegan algunos que el aire, aunque más frío, está más húmedo, y que es más ligero por húmedo ya que no por frío; pero si es más ligero debe tender á elevarse, y la corriente ascendente que se originara arrastraría al globo, cuya densidad no puede ser muy diferente de la del aire.

Pues á pesar de todo, es lo cierto que sobre datos tan confusos é incoherentes de un fenómeno que en definitiva no es admitido más que por puras impresiones, se funda una argumentación que es para muchos la más completa y concluyente que puede presentarse á favor de la lluvia forestal (2), y hay quien asimila con este motivo á los bosques con montañas de 1.000 á 1.500 metros de altura y quien pretende que, como el globo, serán también atraídas las nubes y obligadas á repartir en lluvia benéfica el precioso elemento.

Tales fantasías no resisten el más leve soplo de la crítica; pero son muy apropiadas para asombrar al público indocto que supone todavía á las nubes como enormes sacos de agua que van repartiendo en unos sitios con largueza y en otros con sordida avaricia. No necesitan el recuerdo los ilustrados lectores habituales de este *Boletín*, pero el papel impreso no sólo llega á manos de aquel á quien se destina, y como además el pasaje es sugestivo, no resisto á la tentación de relatar aquí una curiosa observación de Babinet, hecha con motivo de una excursión al Pirineo: «Una corriente de aire—débil al principio y pronto más fuerte, trajo el aire de Francia hacia nosotros y hacia España, y cuando alcanzamos un collado desde donde podíamos ya contemplar lejanías españolas, este viento adquirió una gran violencia. Fuí allí testigo de una circunstancia que asombró hasta á mis guías, que almorzaban por tercera vez; llegaba el aire completamente claro para franquear el alto collado; convertíase en nube á esta altura, y recobraba su claridad y su transparencia al precipitarse en sonoro remolino hacia las llanuras de Cataluña. Era un espectáculo curioso ver esta nube persistente, cuando el viento debía, al parecer, arrastrarla con una gran rapidez» (3).

Babinet explica en seguida lo que ya los lectores han adivinado: el aire, enfriado al elevarse, había recobrado su temperatura al descender de nuevo; lo curioso y original de la observación estaba solamente en que la altura del collado coincidía con la de producción de la nube.

Pues lo que ocurría en ese caso particular ocurriría igualmente si el bosque tuviera esa supuesta atracción sobre las nubes: que, al descender, éstas dejarían de ser nubes y sus menudas gotitas retornarían al estado de vapor, sin que la nube pudiera tampoco ahora reformarse superiormente, porque la corriente, aquí siempre descendente, elevando su temperatura, alejaría al aire cada vez más de su punto de saturación.

Las razones teóricas á favor de la lluvia forestal carecen, aca-

(1) Puede verse en la comunicación de M. Henry, en la pág. 345 del *Compte rendu* del referido Congreso.

(2) Véase Armenteras, *Arboles y montes*, pág. 102, y Madariaga, prólogo á su traducción de la obra de Piccioli, *Montes y torrentes*.

(3) Babinet, «Un jour d'observations dans les Pyrénées», *Revue Européenne*, 1860, tomo VII.

(1) Véase Hildebrandsson y Teisserenc de Bort, *Les bases de la Météorologie dynamique*, tomo I, pág. 179.

bamos de verlo, de todo fundamento científico; pero los entusiasmas panegiristas del bosque no se dejan vencer fácilmente. Reconocerán si es preciso que la explicación teórica del hecho que defienden se les escapa, pero apelarán á la experiencia, y procurarán demostrar su realidad con ejemplos numerosos que no es posible, según ellos, negar sin negar la evidencia misma.

Cuando se los pone á prueba los resultados no son ya tan concluyentes, ni las observaciones tan decisivas. Se ha repetido, hasta la saciedad, que la lluvia en el Cairo había aumentado á consecuencia de las plantaciones hechas allí por Mehemet Ali. Clot Bey (1), que se hacía ya cargo en 1840 de esta opinión vulgar, la negaba en absoluto, demostrando con cifras que en su época la lluvia en el Cairo era próximamente la misma, y aun ligeramente menor en el último quinquenio que la registrada durante los tres años de la expedición francesa de principios del siglo. En el quinquenio mencionado por Clot Bey, la lluvia anual media resulta de 34 milímetros; 31 asignan á la media actual, deduciéndola de datos de Willcocks, los Sres. Nicolau y Puig de la Bellacasa en su notable libro sobre *Las obras de riego en Egipto* (2). Con todo un siglo de diferencia, y á pesar de que las plantaciones han tenido tiempo de llegar ya á su desarrollo definitivo, la situación, como se ve, continúa la misma, y aun más bien las cifras acusarían, si se quisiera apurarlas, un ligero efecto contraproducente, pero que con toda seguridad es ajeno á la acción completamente despreciable del arbolado.

Ejemplos contrarios podrían también citarse algunos. El ilustrado Secretario de la Sociedad Astronómica, Sr. Raurich, en un artículo publicado en el diario de Palafrugell, *Baix Empordà*, con el título «El Castell de Bagur», en 3 de Noviembre de 1912, citaba precisamente uno muy al caso, y que quizás repita y amplíe con nuevos datos. Pero entrar ahora á examinar el valor científico de estas deducciones empíricas nos llevaría demasiado lejos.

II

He tratado, desde un punto de vista teórico, la generalizada opinión favorable á la supuesta influencia de los bosques en la producción de la lluvia. Me propongo ahora estudiar cuál es el valor científico de los diferentes ejemplos prácticos que, con más ó menos fundamento, se aducen en favor de la creencia.

Lo primero que procede al tratar esta materia es hacer una selección. He citado el ejemplo del supuesto aumento de lluvias en el Cairo, como consecuencia de las plantaciones hechas allí por Mehemet Ali. Se ha visto que no había tal aumento; que el clima no había variado; el hecho mismo es inexacto y no habrá, por consiguiente, que investigar cuál pueda ser su significación precisa.

Como éste podrían citarse otros muchos. ¿Quiere esto decir que los defensores de la tesis contraria sean unos falsarios? Lejos de mi ánimo el formular tal acusación. Si en algún caso particularísimo el exceso de celo ha podido inducir á alguna ligera superchería, lo general es que proceden con entera buena fe; pero la convicción que tienen ya formada les lleva á admitir sin crítica todo aquello que favorece á su opinión.

En Egipto, y sobre todo tierra adentro, hay seis ó siete meses, de Abril á Octubre, en los que no suele caer ni gota de agua. Son muchos de estos meses los de vida más activa en la comarca; la prolongada sequía coincide en gran parte con aguas altas en el Nilo, y es época muy favorable para la agricultura; es tam-

bién la que suelen preferir los viajeros para visitar el país. En el resto del año, la lluvia es menos rara, aunque siempre escasa; ha podido considerarse como un accidente que, mientras menos observado, ha podido pasar por más excepcional. De aquí la creencia de que en Egipto *no llueve*, afirmación que, á fuerza de ser repetida, ha llegado á ser tomada en sentido literal. Pero á partir de la ocupación francesa, el país empieza á ser mejor conocido; un Soberano esclarecido inicia reformas que le hacen entrar en vías de progreso; el clima es estudiado científicamente, obsérvasele con regularidad y con precisión, y entonces se ve que, aunque poco, algo llueve.

La creencia dominante no se abandona, sin embargo; se la relega al pasado y se llega á la conclusión de que ha habido un cambio de clima. Aceptado el hecho, hay que buscarle en una explicación, y se cree encontrarla en unos cuantos miles de árboles plantados de más en la comarca. Y así la curiosidad queda satisfecha y una nueva prueba añadida al numeroso catálogo de las que vienen á confirmar la favorable influencia del arbolado.

Prescindiendo de los hechos inexactos, habrá que estudiar detenidamente en los que no lo sean, si el efecto observado no puede tener interpretación más natural y verosímil que la que le atribuye la teoría forestal. A este efecto, pueden clasificarse los ejemplos aducidos en dos grandes grupos: pertenecen al primero aquellos en que, comparando regiones arboladas y desnudas, se observan las precipitaciones atmosféricas que tienen lugar en dos estaciones diferentes, mientras que deberán incluirse en el segundo aquellos otros en que la estación es única, aunque diferentes las épocas en que el régimen pluviométrico se estudia, correspondiendo esas épocas á distinta situación forestal de la comarca. Llamaremos, para entendernos, á los primeros *ejemplos geográficos* y á los segundos *ejemplos históricos*.

Como ejemplos geográficos se aducen una porción de hechos perfectamente exactos, pero que sólo prueban la simultaneidad de dos circunstancias: estado forestal próspero y lluvias abundantes ó viceversa, sin que eso sólo baste para decidirse por la existencia de una relación de causalidad que haga depender forzadamente la una de la otra. En muchos de estos casos es evidente, en el estado actual de la ciencia, que la causa no es el mayor ó menor desarrollo del arbolado.

La distribución general de las lluvias en nuestro planeta depende, principalmente, del régimen de los vientos, originado por causas astronómicas más ó menos modificadas por la desigual repartición de tierras y mares.

Hacia el ecuador térmico, y en la zona de calmas que sobre él se establece, la lluvia (de convección) llega al máximo, y esta zona, en su oscilación anual, cubre una banda más ó menos ancha alrededor del globo; á uno y otro lado de esta zona ecuatorial, y hasta traspasar las calmas subtropicales, en las que dominan las corrientes descendentes, las lluvias son escasas ó casi nulas, excepto en algunas costas abiertas á los vientos marinos que soplan hacia los polos en los circuitos cerrados que la forma y distribución de los Continentes imponen á las corrientes aéreas; son estas zonas las zonas de desiertos que comprenden en el hemisferio Norte el Sahara, la Arabia, una buena parte del centro de Asia y el Far West americano, y en el Sur el desierto de Kalahari, el Oeste y centro de Australia y una gran extensión de las costas americanas de Chile y del Perú.

De una parte y otra de estas zonas desérticas la altura pluviométrica vuelve á crecer de nuevo para llegar á su máximo hacia los 45 ó 50° de latitud y decrecer en seguida hacia los polos (1).

(1) *Aperçu général sur l'Egypte*. Bruxelles, 1840, tomo I, páginas 106-107, 110-115.

(2) Pág. 10.

(1) Véase Angot, *Traité élémentaire de Météorologie*. Paris, 1907, páginas 229-236.

En las regiones lluviosas, y especialmente en la zona tórrida, la vegetación, como es natural, se desarrolla exuberante, los bosques abundan; en las secas sólo pueden vivir, cuando viven, plantas esteparias. No cabe dudar cuál es aquí la causa y cuál es el efecto.

Pues todavía en 1911, el Inspector de Aguas y Bosques de la vecina república, M. Jacquot, en su libro *La Forêt*, donde todas las exageraciones forestales parece que se han dado cita, pone en parangón, y atribuye á su mayor riqueza forestal, las lluvias abundantes de la costa americana entre la bahía de Cupica y el golfo de Guayaquil y la aridez extrema de la contigua parte más meridional de la misma costa perteneciente al Perú y á Chile (1).

Contestando á observaciones mías en el Congreso Internacional de Agricultura de Madrid, también el Sr. Armenteras me presentaba como prueba de su tesis la oposición que, en punto á abundancia en las precipitaciones pluviosas, existe entre Santiago de Galicia y la meseta central (2). También aquí la explicación es bien fácil, sin necesidad de reconocer al arbolado misteriosas influencias. Los vientos del Atlántico, al chocar con las montañas gallegas, depositan allí la mayor parte de su humedad (lluvias de relieve) y, al trasponer las cumbres, han de convertirse necesariamente en vientos relativamente secos. Sólo los que, esquivando la montaña, ganen el interior por las depresiones naturales del terreno podrán ser causa de lluvias abundantes. Éstas tendrán que ser, por consiguiente, menos frecuentes ó menos copiosas que en Santiago.

Tratando de evitar las variaciones que en las demás causas modificadoras pueden encontrarse cuando se comparan regiones algo distantes, se ha ideado limitar la comparación á estaciones muy próximas separadas tan sólo algunos kilómetros. Ni aun así cabe ponerse á cubierto de la variabilidad extrema del fenómeno (3); pero al reducir el teatro de las observaciones, una nueva objeción se presenta. Vimos en el apartado anterior que, cualquiera que sea la importancia de la influencia forestal, y á menos de una calma absoluta, el viento difunde el efecto, y no será probable poderlo observar ya debidamente. De todos modos los experimentos hechos en este sentido tampoco son concluyentes.

Quizás el que ha adquirido más celebridad es el realizado durante treinta y dos años por la Escuela forestal de Nancy. Durante todo ese período, un pluviómetro colocado en el bosque de Haye ha recogido constantemente precipitaciones más abundantes que las registradas en otro pluviómetro situado primero en Amance, después en la Bouzule, ambas estaciones agrícolas á 10 ó 12 kilómetros de distancia de la estación forestal. Por término medio, las estaciones agrícolas han recogido tan sólo 76,7 por 100 de la lluvia de Haye (4). A la crítica de estas observaciones he dedicado una nota presentada al Congreso de Madrid de la Asociación española para el progreso de las Ciencias (5) y en ella creo haber demostrado la inconsistencia de las conclusiones deducidas de tales datos. No puedo entrar aquí en su examen detenido, pero lo que sobre todo les quita todo valor es el hecho de que la misma relación media se observa entre la lluvia de unas y otras estaciones en los períodos de vegetación activa y en los de reposo de la vegetación, resultado á todas luces incompatible con el supuesto de ser el arbolado la causa de la diferencia.

Los argumentos de orden histórico parecen asentarse sobre más sólida base. Las diferencias de localidad quedan eliminadas: los resultados que se obtengan pueden con más confianza ser atribuidos á la variación del estado forestal. Pero aquí se presentan nuevos motivos de vacilación y duda. Si variable es la distribución de la lluvia en el espacio, no menos variable es su repartición en el tiempo, y tanto más variable cuanto más nos acerquemos á las regiones áridas ó semiáridas del Globo, donde las devastaciones forestales son de más difícil reposición, donde, por consiguiente, el problema reviste más interés, y adonde por lo mismo se han fijado con preferencia muchos investigadores.

Es frecuente, aun en las comarcas mejor regadas de la Europa central, que las precipitaciones varíen de un año á otro en la relación de sencillo á doble. En nuestro país, y especialmente en el Sur, la divergencia es más notable todavía: en San Fernando, de 1805 á 1899 la altura pluviométrica ha variado de 286,4 milímetros, en 1806 hasta 1.262,4 en 1855 (1); en Gibraltar, de 1790 á 1899, la variación ha sido entre un mínimo de 384 milímetros, en el año meteorológico (1.º de Agosto á 31 de Julio) de 1800 á 1801, y un máximo de 1.985, en el de 1855 á 1856 (2). Se ha tratado de reducir á la ley divergencias tan considerables; se han ensayado distintos períodos, sin llegar nunca á resultados concluyentes.

Los que más boga han alcanzado entre estos estudios son los de Brückner que creía encontrar un período de treinta y cinco años, aplicable por lo menos á una buena parte de Europa y Asia. Aunque estas conclusiones no son unánimemente aceptadas, puede admitirse que, por lo menos, para las regiones húmedas, ese plazo de treinta y cinco años es bastante para poder calcular la media de las precipitaciones con una aproximación suficiente; el error sería para la Gran Bretaña, según Binnie de sólo 2 por 100. Pero en España ese plazo no sería tampoco suficiente: si se calculan todas las series de treinta y cinco años consecutivos que con las observaciones de Gibraltar se pueden formar, todavía la variabilidad alcanza al 20 por 100 de la media.

Se ve, pues, que, sin observaciones bastante largas, que durarán por lo menos setenta ó cien años, para que pudiera estudiarse por tiempo suficiente la cuenca en cuestión, arbolada una vez y desnuda otra, los resultados que se obtuvieran habrían de ser siempre muy precarios. No es extraño así encontrarlos para todos los gustos: á los aducidos por los forestales pueden oponerse otros de significación contraria, como los citados por Vallés, y antes por Flaugergues, de haber aumentado en Viviers de un modo constante durante cuatro decenios consecutivos, 1778 á 1817, la cantidad de lluvia, á pesar de haber ido en aumento el descuaje de los montes. Las medias anuales correspondientes á esos decenios habrían crecido desde 842 milímetros hasta 1.012 (3), obteniéndose así aumento casi tan importante como el que pretende deducirse de las discutidas observaciones de Nancy.

Aun tratándose de largas series de años, podrían no faltar los motivos de duda; los instrumentos antiguos no siempre son comparables con los modernos, y los buenos métodos de observación son relativamente recientes. Además, aun en el supuesto de que las observaciones meteorológicas fueran irreprochables, sería preciso que lo fueran igualmente los datos forestales, y éstos, de ordinario, son bastante deficientes, sobre todo en aquellas regiones donde los descuajes han sido considerables y abusivos, que son

(1) Página 46.

(2) IX Congreso Internacional de Agricultura, Madrid, 1912, pág. 657.

(3) «Para estudiar comparativamente los regímenes pluviométricos no es cómodo considerar directamente las alturas absolutas de lluvia porque estas alturas pueden diferir enormemente hasta entre estaciones muy próximas». Angot, ob., cit. pág. 236.

(4) Pueden verse más detalles en la *Economie forestiere*, de Huffel, edición 1910, tomo I, páginas 67-76.

(5) REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS, 26 de Junio y 28 de Agosto de 1913.

(1) Instituto y Observatorio de Marina de San Fernando. Resumen de las observaciones pluviométricas efectuada en los años 1805 á 1899. San Fernando, 1900.

(2) Bentabol, *Las Aguas de España y Portugal*. Madrid, 1900, pág. 51.

(3) Ruiz Amado, *Los montes y las necesidades de los pueblos*, tomo I, página 373.

precisamente las que, con más frecuencia, se ponen por ejemplo.

Difícilmente podría encontrarse hoy campo de comprobación más adecuado que el que nos presentan los Estados Unidos. El prodigioso desarrollo económico de la Unión ha sido causa de que los descuajes hayan sido rápidos y extensos, y efectuados en época en que los estudios meteorológicos se encontraban ya bastante adelantados. Existen series bastantes antiguas de observaciones pluviométricas, si la pretendida influencia de los bosques fuera cierta, debería observarse una disminución constante en las alturas medias de lluvia. Nada de esto ocurre; los estudios hechos allí recientemente acerca de este punto conducen á un resultado negativo.

En la imposibilidad de citarlos todos, no mencionaré aquí sino uno de los más notables y autorizados: el informe dado á la Cámara de representantes de su país por el entonces Jefe del Servicio meteorológico federal Mr. Moore. Sus conclusiones son formalmente contrarias á la tesis forestal y, entre los hechos á que hace referencia, se encuentra el que á continuación copio, por vía de ejemplo, y porque es uno de los más interesantes y documentados (1):

«En New England, donde primero en nuestra Historia empezaron los descuajes, y éstos han sido más extensos, la media de las fluctuaciones en la curva de la lluvia es *un marcado aumento desde 1836 hasta hace pocos años*; y en el valle del Ohío, donde el área forestal ha disminuído considerablemente, no hay disminución de lluvia que se haga aparente por la media de las fluctuaciones de la curva».

Para satisfacer la necesidad de abarcar grandes períodos se ha entrado también en el resbaladizo terreno de las citas históricas, y hasta se ha recurrido á los refranes y dichos populares, para sacar de ellos argumentos á favor de la pretendida influencia. En el terreno científico bien poco valor puede concederse á tales razonamientos: ejemplos numerosos podrían citarse de lo mal que el vulgo observa, para que nos consideremos relevados de entrar en una discusión detenida acerca de este punto. «Por San Matías—dice un conocido refrán—igualan las noches con los días». Celébrase San Matías el 24 de Febrero y la igualdad de días y noches no tiene lugar hasta el 16 ó el 17 de Marzo.

En cuanto á las citas históricas, suelen ser también bastante imprecisas para que la conclusión sea por lo menos dudosa; cuando se las estudia con cuidado, no es extraño verlas completamente desprovistas de fundamento. Hace años el Sr. Sánchez de Toca, en un libro notable por otros conceptos, afirmaba que el estiaje del Ebro habíase reducido á la mitad á consecuencia de los descuajes realizados en su cuenca durante el último siglo, y se fundaba para ello en que el canal Imperial se había construído, según su frase, «con completo estudio de la fisiografía del Ebro y de su cuenca, que comprobaban base segura para alimentar el canal con 30 metros cúbicos como promedio constante del estiaje» (2).

Ante argumento, tan convincente al parecer, procuré enterarme de la verdad que pudiera haber en el asunto, y el resultado de mis investigaciones lo publiqué en un artículo al cual remito al lector (3). Como resumen de él, básteme decir que ni parece haber habido tan concienzudo estudio, ni el canal, que primero se pensó hubiera de servir para la navegación, ha te-

nido en ninguna época mayor dotación de la que tiene hoy. Según el Conde de Sástago, protector del canal á la muerte de Pignatelli, lo que regularmente pasaba en su época por el cauce del canal en cada hora eran sólo 2.322.300 pies cúbicos, ó sean escasamente 11 metros cúbicos por segundo (1). Así son la mayor parte de las citas forestales.

Si en el apartado anterior vimos que la teoría de la lluvia forestal carecía de fundamento serio, la conclusión que de este hemos de deducir es que no hay tampoco hecho ninguno de experiencia que obligue á aceptar un influjo tan improbable en teoría. Para completar la materia, réstanos hacer alguna aplicación á España de las doctrinas expuestas.

III

Veamos, pues, hasta qué punto encuentran confirmación en nuestro país las conclusiones á que hemos llegado y qué modificación de nuestro régimen pluviométrico podría llegarse á obtener, si fuera posible alguna, mediante la repoblación forestal.

Ante todo, convendrá fijar la atención en la configuración de nuestra Península. Ésta está constituida por una elevada meseta de unos 600 metros de altitud, sobre la que aun destacan cordilleras cuyos picos alcanzan hasta los 2.600 metros sobre el nivel del mar, sin contar los macizos pirenaico y penibético, que la bordean por el Norte y por el Sur, donde las altitudes llegan, y aun exceden, á los 3.400. La superficie que pasa de 500 metros representa el 61 por 100 de la total; la superior á 1.000, el 16. Su extensión es, en conjunto, de 583.500 kilómetros cuadrados (fig. 1.^a).

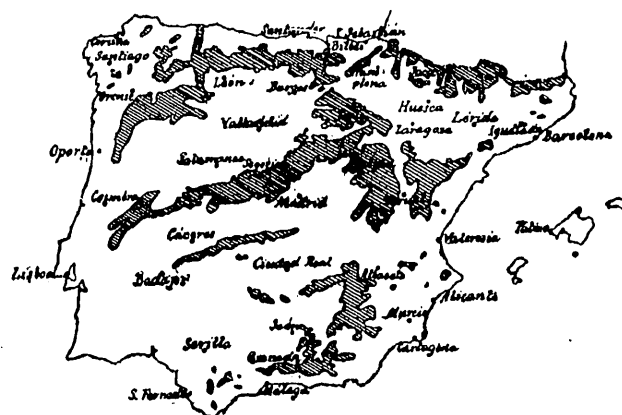


Fig. 1.^a—Zonas de altitud superior á 1.000 metros.

Si este importante macizo se encontrara aislado y libre de toda otra influencia que la del calor solar que por razón de su latitud debe recibir en las distintas épocas del año, los vientos que su presencia determinaría deberían obedecer á un régimen monzónico. Calentadas en verano las tierras más intensamente que el mar, comunicarían su temperatura al aire que, al dilatarse, se haría más ligero y tendería á subir, arrastrando tras sí el aire marino que vendría á reemplazarle. Este aire cargado de humedad se enfriaría al ascender; pero, como iría atravesando capas cada vez más frías, llegaría un momento en que se encontrara ya en equilibrio de temperatura, y, por consiguiente, á igual densidad que el aire que le rodease, y entonces, al ser empujado por el ascendente inferior, escaparía horizontalmente, para derramarse al fin sobre el mar, cerrando el circuito. Se tendría así sobre la Península un centro de baja presión, originario de un sistema ciclónico favorable á la producción de la llu-

(1) A report on *The influence of forests on climate and on floods*, by Willis L. Moore Washington, 1910, pág. 14.

(2) Sánchez de Toca, *Reconstitución de España en vida de Economía política actual*. Madrid, 1911, pág. 310.

(3) «La Repoblación forestal y el libro del Sr. Sánchez de Toca». REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS, 11 de Enero de 1912.

(1) *Descripción de los Canales Imperial de Aragón y Real de Tauste*, Zaragoza, 1796, pág. 39.

via. Ésta sería tanto más abundante cuanto más cargado de humedad llegara el aire y á mayor altura subiera.

En el invierno, las circunstancias serían completamente inversas: la temperatura continental sería inferior á la marítima: el aire interior, más pesado, tendería á descender, rechazando al del mar, y los terrales secos alejarían la lluvia. Las estaciones intermedias participarían más ó menos de uno ú otro régimen, según cuales fueran las circunstancias temporalmente preponderantes. El resultado sería, en definitiva, una estación seca correspondiente al invierno y una estación más ó menos húmeda con un máximo de lluvia hacia el verano.

El régimen pluviométrico de la Península difiere, sin embargo, radicalmente del que acabamos de describir. De ordinario se observan en el año dos máximos y dos mínimos de lluvia: los primeros tienen lugar en otoño y primavera, los segundos en invierno y verano. Y es precisamente el mínimo de verano el más marcado de todos, especialmente en Andalucía, donde muchos años no llueve absolutamente nada en tres meses, ocurriendo cosa parecida en gran parte de Extremadura y Castilla la Nueva. Y aun es lo más notable del caso que en esta estación los vientos dominantes soplan de la periferia al centro, como demanda el régimen monzónico y que, por consiguiente, la corriente ascensional ha de producirse. ¿Cómo procediendo el aire del mar, esta corriente no produce lluvia?

Esto es lo que los partidarios de la lluvia forestal han tratado de explicar en la siguiente forma: el aire, dicen, viene cargado de humedad, pero al contacto con los caldeados terrenos de la Península, se calienta cada vez más, apartándose de su punto de saturación; si una abundante vegetación refrescara al ambiente, los vapores acabarían por condensarse y tendríamos sobre toda la Península las lluvias de verano, que vendrían á mitigar una de las más sensibles desventajas de nuestro clima desde el punto de vista agrícola.

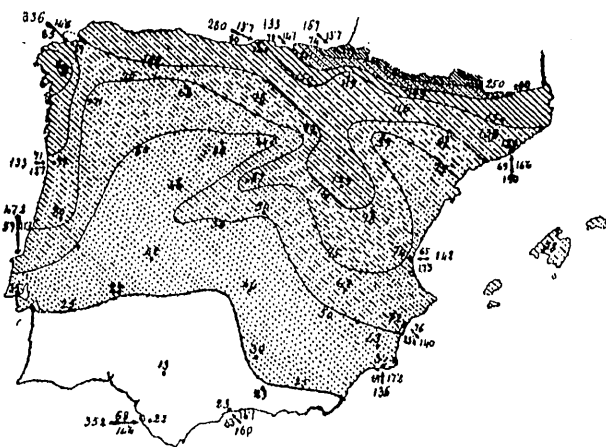


Fig. 2.ª.—Lluvia de verano, en milímetros.

El razonamiento, sin embargo, no es aceptable. El aire podrá ciertamente calentarse por contacto más de lo que se enfríe por expansión, y, como consecuencia, podrá alejarse el momento de la lluvia y no producirse ésta al nivel de las más altas tierras; pero esa misma mayor temperatura que el aire adquiere, al disminuir su densidad, vendrá á hacer más poderosa é intensa la corriente ascendente y el efecto será sólo elevar la altura del nublado. Es más, precisamente ese desigual caldeo del mar y de la meseta es el que determina la corriente ascendente, circunstancia favorable para la producción de la lluvia, y todo lo que contribuya á reducir esa diferencia vendrá también en perjuicio de la intensidad del efecto. Si por completo se la anulara, la lluvia sería también nula.

No hay que olvidar tampoco que la lluvia, aunque escasa en

esta estación, no es tan por completo despreciable. Es cierto que es casi nula en Andalucía, aunque para tomarlo todo en cuenta habría también que medir los rocíos matinales muy abundantes en ocasiones y que escapan al pluviómetro; pero á medida que se sube en latitud, la cantidad de la lluvia aumenta en términos generales hasta llegar á un máximo en el Cantábrico y Pirineo. La figura 2.ª da el aspecto de conjunto de la distribución de la lluvia durante la estación: en ella puede verse que este aumento de la lluvia con la latitud viene modificado por dos mínimos relativos correspondientes á las depresiones del Duero y del Ebro, y por otro algo menos marcado que corresponde al Guadalquivir, y, en oposición á estos mínimos, dos máximos principales que siguen, aproximadamente, las cordilleras Carpeto-Vetónica é Ibérica, los más importantes salientes del relieve de la meseta. El máximo absoluto viene á corresponder á la cadena pirenaica (1).

En vista de esta correspondencia, que se hace más patente por la comparación de las figuras 1.ª y 2.ª, no puede negarse la influencia del relieve en el fenómeno: la lluvia es tanto más importante cuanto más alto se ve el aire obligado á elevarse, al trepar por las pendientes de nuestro macizo continental, y si se prescindiera del Pirineo y sus estribaciones, el máximo se encuentra precisamente en la divisoria, donde viene á afluir el aire de los dos mares.

Este máximo no llega, sin embargo, en Molina de Aragón sino á 129 milímetros en tres meses. Es, sin duda, reducido; pero lo que mejor prueba que la repoblación no había de contribuir á aumentarlo es que el descenso es ya rápido hacia Cuenca, provincia que figura en España en primera línea por su riqueza forestal, mientras Molina de Aragón se encuentra contigua á las Parameras de su nombre, sin que sean tampoco considerables las diferencias en altitud, pues si Molina se encuentra á 1.056 metros sobre el nivel del mar, Cuenca llega á 958 y en su proximidad hay sierras que elevan sus picos á más de 1.800 metros.

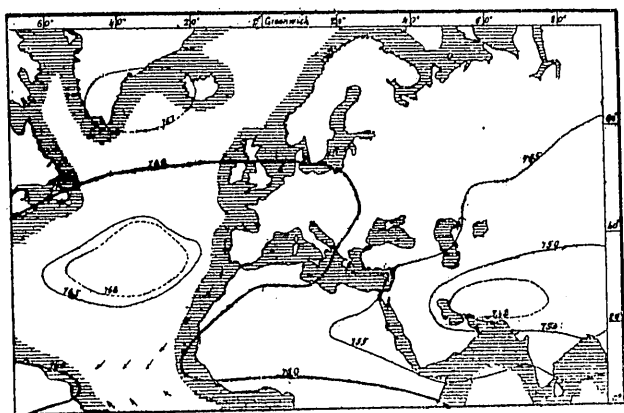
Hay, pues, que buscar otras causas para lo reducido de ese máximo, y éstas fácil es encontrarlas en la escasa humedad del aire y en la pequeña altura á que se eleva la corriente ascensional. En la figura se han indicado la tensión del vapor y la humedad relativa del aire y la dirección é intensidad del viento en las estaciones marítimas. La humedad es, como se ve, por lo general, menor en el Mediterráneo que en el Cantábrico y todavía los números apuntados, resultado de observaciones hechas casi al nivel del mar, no reflejan con toda exactitud la diferencia porque, como veremos en seguida, los vientos mediterráneos proceden de no mucha distancia de la costa: ni las capas del aire han tenido tiempo de mezclarse, ni los vapores de difundirse; la humedad debe, pues, decrecer rápidamente con la altura, y la riqueza en vapor del espesor de atmósfera que se pone en movimiento será más pequeña de lo que habría derecho á esperar de la observación inferior. En el Cantábrico, por el contrario, el más grande recorrido marítimo del viento es garantía de que el número observado refleje con más fidelidad la humedad efectiva. No es, pues, extraño que, aun á igualdad de intensidad del viento, las precipitaciones sean más copiosas del lado del Cantábrico que del lado del Mediterráneo.

Por la parte del Atlántico la humedad crece de Sur á Norte, y cuando, al mismo tiempo que ella, aumenta también la intensidad del viento, como en La Coruña, las precipitaciones llegan á un máximo que las condiciones locales hacen corresponder á Santiago. Finalmente, las costas del Sur, que un estrecho mar

(1) Los datos que han servido para dibujar esta figura y la 4.ª son los consignados en los cuadros numéricos que acompañan á la *Reseña geográfica y estadística de España* por el Instituto Geográfico y Estadístico.

separa de la costa africana y que comparten con ésta la llamada de aire marítimo, reciben aún menos humedad que el resto de la periferia hispánica y no ha de extrañar, por consiguiente, verlas señaladas con un mínimo de precipitación. En medio de él, apenas si se acusa el efecto del relieve de las elevadas sierras meridionales pertenecientes al macizo ibérico y de la cordillera penibética, á pesar de los importantes macizos forestales de la cabecera del Segura y de la acción refrigerante de Sierra Nevada.

La escasa elevación de la corriente ascensional es, por otra parte, un resultado obligado de la circulación general de la atmósfera en la época considerada. El centro de altas presiones del Atlántico Septentrional sube en Julio hasta las Azores, quedando situado á unos 20° de longitud de nuestras costas occidentales; el mínimo de Islandia queda muy atenuado, estableciéndose en cambio con caracteres predominantes uno sobre el Afghanistan. Estos centros de acción atmosférica determinan el régimen de vientos; el aire que parte del centro anticiclónico de



casi exclusivamente dependiente de los centros del Atlántico, que descienden en latitud, y cuya influencia es más ó menos modificada por el paso de perturbaciones atmosféricas, mucho más frecuentes en estas estaciones. Durante ellas la lluvia en España es casi exclusivamente ciclónica. En invierno, sin embargo, el efecto continental contrario á la lluvia se hace sentir, y á él es en gran parte debido el mínimo de precipitación que caracteriza á esta época del año.

No es tan patente el efecto sobre el mapa de isoyetas, porque procediendo la lluvia de causas exteriores, se reparte sobre la Península según la mayor ó menor entrada que tienen en las distintas regiones los vientos marítimos, de donde resultan mínimos que se extienden no sólo sobre las zonas de altitud, sino también sobre las depresiones resguardadas hasta cierto punto de las corrientes húmedas; pero si en vez de considerar la cantidad absoluta de lluvia se toma en cuenta tan sólo la relación entre la lluvia de invierno y la total del año, se llega á la distribución de la figura 4.^a, cuyo parentesco con la de la figura 2.^a es evidente, sólo que de una á otra los máximos tienden á convertirse en mínimos y viceversa, como debía ocurrir dada la inversión completa de las circunstancias influyentes.

Se ve, pues, que los hechos concuerdan con la teoría y que la comprobación es completa.

El ferrocarril eléctrico monocarril aéreo de Génova.

Con motivo de una Exposición marítima que se ha verificado en Génova el año pasado, se construyó un camino de hierro monocarril para poner en comunicación el puerto con la Exposición.

Este ferrocarril costea la ribera en la mayor parte de su recorrido, y aun en muchos puntos está suspendido sobre el mar. Esta disposición, que en algún modo era requerida por la situación de la ciudad de Génova, construida en anfiteatro sobre una colina que domina el mar, hacía el trayecto más pintoresco, pero

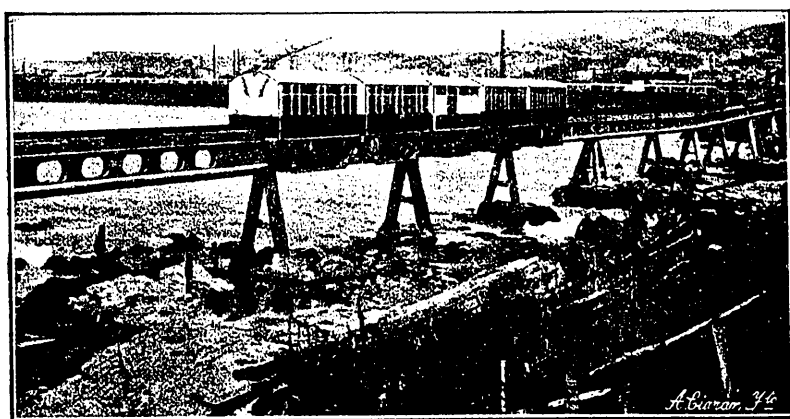


Fig. 1.^a

presentaba ciertas dificultades y exigía el empleo de una solución especial.

Después de examinar varios proyectos, se adoptó un camino de hierro monocarril, soportado por una vía rígida, y de un tipo derivado del sistema Lartigue, es decir, de un sistema en el cual los vehículos están, por decirlo así, á caballo sobre la vía, alojándose los rodillos de rodamiento en un hueco longitudinal existente en la parte inferior de los vagones, entre los asientos, que están dispuestos dos á dos.

Vamos á describir esta línea valiéndonos del artículo que sobre este asunto publica, en *Le Génie Civil*, M. P. C.

Empieza el autor haciendo una breve exposición de los ferrocarriles de este sistema, y dice que pueden distribuirse en tres grupos, según la posición del centro de gravedad con relación al soporte.

El primer grupo tiene por prototipo al sistema Lartigue (figura 2.^a). En este grupo el centro de gravedad G del vehículo está colocado sobre la rueda portadora r , y dos rodillos g aseguran la dirección y el equilibrio del tren. A este tipo pertenece, entre otros, el sistema Beyer (fig. 3.^a), que sólo utiliza dos carriles, colocados verticalmente uno encima del otro, el uno portador y el otro guía.

En el segundo grupo, el centro de gravedad G no está colocado en el plano vertical del carril portador, de modo que el vehículo tiene tendencia á oscilar, y se mantiene en su posición de servicio por dos rodillos. A este grupo pertenecen el sistema del Ingeniero americano Cook (fig. 3.^a) y el de M. Dietrich (fig. 4.^a)

En el tercer grupo el centro de gravedad está debajo de las ruedas portadoras y en su plano, de modo que el vehículo está normalmente en equilibrio. A este grupo pertenecen los sistemas Enos (fig. 6.^a) y Perlay Hale (fig. 7.^a), así como el Mühl (fig. 8.^a), en el que el vehículo está guiado por rodillos superiores, pero está unido al aparato motor por un resorte s que le permite tomar una cierta inclinación en las curvas, bajo la acción de la fuerza centrífuga, lo que tiene por efecto disminuir las reacciones. En fin, en el sistema Langen (fig. 8.^a) el vehículo no lleva rodillos de guía, de modo que puede tomar una cierta inclinación en las curvas, por ejemplo.

Una aplicación de este último sistema es el ferrocarril de Barmen-Elberfeld que tiene una doble vía; soportada por pórticos en forma de V invertida. Esta disposición es evidentemente costosa; así, esta línea, cuya longitud es de 13.300 metros, ha costado 625.000 pesetas por kilómetro, comprendiendo el coste de las estaciones, y si se agrega el precio del material y el del equipo eléctrico, se llega á un total de 875.000 pesetas por kilómetro. En Génova se ha buscado un sistema menos costoso, y se ha adoptado un aparato derivado del sistema Lartigue.

Todos estos sistemas tienen por característica común poseer una guía material, constituida por rodillos, ó de estar en equilibrio estable normalmente, sin guía, por la acción de la pesantez. En otra clase de ferrocarriles monocarriles se ha seguido un principio completamente diferente y se emplean estabilizadores giroscópicos para obtener el equilibrio de los vehículos. Entre estos aparatos figura el del Ingeniero ruso Schilowsky que ya hemos descrito en esta Revista.

Después de este preámbulo pasa el autor del artículo que extractamos á describir el ferrocarril monocarril aéreo de Génova.

Este ferrocarril se compone de una vía de sección triangular que sostiene y guía rigurosamente el tren, de manera de impedirle oscilar. Esta vía está constituida por una estructura de cemento armado, que lleva en su parte superior el carril sobre el cual se apoyan las ruedas portadoras, y, en su base, los dos carriles horizontales, sobre los cuales se apoyan los rodillos de guía, montados sobre ejes verticales; estos ejes se unen al vehículo por el intermedio de disposiciones de resorte, de modo que la guía lateral del tren presenta una cierta elasticidad, sin que el vehículo esté enteramente libre como en el sistema Langen. Se evitan así los movimientos pendulares que se producen en el caso de la suspensión libre y las sacudidas que resultan de la guía rígida.

La vía está soportada normalmente por una sección semejante á la del carril Vignole. La altura total de la viga es de 1,90 metros y su anchura en la base es de un metro. La vía de roda-