

CARACTERÍSTICAS I PELIGROS QUE PRESENTA EL RÉJIMEN TORRENCIAL

Por Manuel Trucco

1. *Torrencialidad*. — Como características de los torrentes, tendríamos, segun M. Surell, que ellos corren en valles mui cortos, a veces en simples depresiones del terreno; sus crecidas son rápidas i casi siempre súbitas; ellos *socavan* en la montaña, *depositan* en el valle i *divagan* en seguida a causa de esos depósitos.

Sin embargo, la lei en la sucesion de los fenómenos característicos indicados, no se muestra siempre i de un modo absoluto, como lo hace notar M. Lechallas, «con la simplicidad enunciada por M. Surell; pero en cierto sentido se la encuentra por todas partes.»

Ademas, la socavacion en la montaña no es una característica esencial, puesto que un verdadero torrente puede descender de la montaña por un lecho de roca dura e insocavable, i por otra parte, segun lo observa M. Demontzey, los materiales arrastrados no provienen esclusivamente de esa socavacion en la montaña, sino tambien de la desagregacion natural de las rocas situadas a altitudes superiores a la de la vejetacion, desagregaciones que van a caer bajo la accion de la corriente.

De aquí que el profesor M. Thiéry adopte, como mas jenerales, las características fijadas por M. Scipion Gras, precisándolas lijeramente, i diciendo que los torrentes experimentan crecidas súbitas i violentas, corren bajo pendientes fuertes e irregulares i que, lo mas amenudo, trasportan i depositan en el valle los materiales arrancados a los flancos de las montañas o caidos desde sus cimas, los que hacen divagar las aguas en el momento de las crecidas.

Por lo demas, las características indicadas por M. Scipion Gras son las comunmente aceptadas hoi dia i son tambien las que ha adoptado en Suiza el profesor M. Culmann segun se lee en su *Rapport au Conseil fédéral sur les torrents des Alpes suisses*.

Lo esencialmente característico en el réjimen torrencial, son pues las perturbaciones, mas o ménos importantes, que experimenta la corriente como efecto de la masa de materiales que arrastra; i entre estas perturbaciones la mas notable es la inestabilidad del curso.

En realidad, los fenómenos que caracterizan el réjimen torrencial i las perturbaciones que orijinan, se encuentran, como hemos dicho, aun en los rios tranquilos, en proporciones mucho mas reducidas.

Así, pues, la mayor o menor intensidad de tales perturbaciones da la medida, podria decirse, del grado de torrencialidad, empleando la espresion de M. Costa.

Ya hemos hecho notar que el elemento que origina las mayores perturbaciones, i bien pudiéramos decir todas, es la cantidad de materiales arrastrados: una corriente que no acarrea materiales tiene un cauce cóncavo, bien marcado i fijo; su velocidad oscila segun las variaciones del volúmen de las aguas, obedeciendo a reglas fijas tambien i conocidas; en una palabra, desarrolla su curso con gran estabilidad i regularidad conformándose a las leyes de la hidráulica.

En el caso opuesto, cuando se trata de una corriente turbia i espesa, que arrastra una masa considerable de materiales de toda dimension i naturaleza, se desarrollan en su interior trabajos i resistencias de diverso carácter i continuamente variables; el lecho, se modifica incesantemente; tan pronto una socavacion es rellenada, como a su turno otra masa de aluviones es arrastrada a consecuencia de la desviacion o modificaciones que los primeros depósitos introdujeron en la corriente.

Se comprende que la viscosidad i que esas acciones internas, de que hemos hablado, modifiquen i perturben de tal modo el escurrimiento, que las leyes hidráulicas parecen ser contrariadas i que la corriente afecte caracteres opuestos al estado normal: la mayor velocidad amenudo no corresponde al mayor caudal sino a la mayor claridad de las aguas la superficie de éstas es convexa; su curso no es fijo i estable sino que, por el contrario; varia continúa i caprichosamente, es decir, divaga.

Si se quiere, pues, reducir la torrencialidad de una corriente, o si se pretende *estinguir* o anular esa torrencialidad, convirtiéndola en otra estable i tranquila, nada mas natural ni mas lógico que comenzar por estudiar las causas de tal torrencialidad i la influencia relativa de los diversos factores que contribuyen a las perturbaciones. I aun mas razonable parecerá esta via iniciada por M. Surell, si se tiene presente que abundantes son las pruebas que revelan que numerosas corrientes, estables i tranquilas hoi, han pasado ántes por un período de divagacion de fuerte torrencialidad: estos son los torrentes cuya actividad ha cesado, que se han estinguido, segun la espresion de M. Surell unánimemente aceptada hoi.

A la inversa, podrán citarse otras muchas corrientes que ántes tenian una gran estabilidad, que aun eran aprovechadas para la navegacion, i que en nuestros dias han ido perdiendo sus buenas condiciones i manifestando una torrencialidad, que contra los trabajos no mui acertados de las poblaciones, no ha hecho sino aumentar.

Rejiones de un torrente.—En el curso de un torrente pueden distinguirse dos rejiones principales, netamente caracterizadas por su forma, por su posicion i por el efecto constante que ejercen las aguas sobre ellas.

La primera es la *hoya de recepcion*, o rejion superior del torrente, en donde las aguas se reunen rápidamente i de donde provienen los materiales acarreados.

La segunda es el *lecho de deyeccion* que está situado en los valles i constituido por los materiales de acarreo que en él se depositan.

Erosion o acarreo de materiales en la hoya de recepcion, i depósito de ellos en el lecho de deyeccion, son pues los efectos o fenómenos mas característicos de ambas rejiones.

Los trabajos de defensa deberán, en consecuencia, tomar en cuenta estas condiciones diversas de una u otra zona, sobre las cuales, por esta circunstancia, agregaremos algunas palabras mas.

Hoya de recepcion. — Cuando se remonta el curso de un torrente i nos aproximamos a sus orígenes mismos, se observa, dice M. Surell, que la montaña se abre en anfiteatro, formando una especie de vasto embudo, abierto hacia el cielo, que recibe sobre una gran superficie las aguas de las lluvias, de las nieves, etc., concentrándolas rápidamente en su fondo, en donde van a reunirse tambien los materiales desagregados de sus paredes.

Las dimensiones i la forma mas o ménos accidentada e irregular de ese embudo, llamado *hoya de recepcion* del torrente, depende de la resistencia que oponen los materiales que lo constituyen a ser socavados por las aguas o desagregados por los agentes atmosféricos; como de esa naturaleza del suelo depende tambien el mayor o menor desarrollo que puedan presentar las ramificaciones de barrancas o gargantas secundarias que surcan la superficie i que desaguardo las unas en las otras van a rematar en la garganta principal, llamada simplemente la *garganta* de la hoya, por donde las aguas caen al valle o lecho de deyeccion.

De los estudios practicados sobre los torrentes de los Alpes por los ingenieros franceses, tomamos las siguientes observaciones que indican el funcionamiento de las aguas en las hoyas de recepcion.

La lluvia comienza a caer con tal intensidad, que a veces en veinte minutos los pluviómetros colocados en esas hoyas acusan cinco i seis centímetros.

Las aguas se deslizan sobre esos vastos flancos desnudos i de escesivas pendientes, reuniéndose rápidamente en las menores depresiones i arrastrando la tierra que sirve de apoyo a las piedras.

Al efecto de la lluvia viene a agregarse el de la nieve i amenudo el del granizo, cuya accion es mas enérgica aun.

De esa manera, los guijarros i trozos de rocas, perdiendo su apoyo, se precipitan al fondo de cada barranca o pequeño thalweg, en donde las aguas, habiendo adquirido ya una fuerza importante, los empuja en desórden. Como consecuencia inmediata, las barrancas o gargantas se ensanchan i profundizan constantemente, debido en gran parte a los fuertes frotamientos que se producen contra el fondo i las paredes.

Todas las barrancas funcionando así de la misma manera i al mismo tiempo, precipitan bruscamente en la garganta principal una masa de agua i de materiales de una gran fuerza destructora. De aquí que se produzcan derrumbes mas o ménos considerables de los taludes i socavaciones que pueden provocar movimientos de resbalamientos de grandes macizos.

Se ve, pues, que las condiciones propias de la hoya de recepcion tienen una gran influencia sobre lo súbito i violento de las crecidas de los torrentes i sobre la abundancia de los materiales que va a depositar al llano; puesto que cuanto mas pendiente i cuanto mas desnudas sean sus paredes, con tanto mayor rapidez se precipitarán las aguas en la garganta para caer sobre el valle. I esa mayor rapidez de concentracion implica mayor

velocidad i por consiguiente mayor fuerza de empuje o de arrastramiento; es decir mayor socavacion en la hoya i mayor cantidad de materiales arrastrados.

Si esta gran fuerza de arrastramiento se ejerce sobre un terreno fácilmente desagregable, o descompuesto en parte ya, como es frecuente encontrarlo en las hoyas de recepcion de las altas cordilleras, necesariamente los efectos producidos toman enormes proporciones.

No es de extrañarse, pues, que las socavaciones en las gargantas de algunos torrentes de los Alpes hayan alcanzado a 150 metros de profundidad vertical i que, progresando sin cesar la escavacion, se produzcan movimientos de resbalamiento en la montaña i derrumbes por miles de metros cúbicos (*).

Así, sin citar ninguno de los numerosos ejemplos de los torrentes suisos, i refiriéndonos solo a Francia, podemos presentar el caso del Dévoluy, del que volveremos a ocuparnos mas adelante.

En el valle del Dévoluy, «una parte de la montaña d'Auroux, cubierta de campos cultivados, se precipitó como un solo bloc en la garganta del torrente Labeoux. La conmocion debida a la caída se sintió hasta en la aldea de la Cluse cuyos habitantes lo atribuyeron a un temblor. La causa no estaba sin embargo en otra parte sino en la erosion del torrente que habia minado la base de la montaña» (Surell, Etude sur les torrents des Hautes Alpes t. I.)

Se conciben los efectos desastrosos que pueden ocasionar estos derrumbes, tan frecuentes en las gargantas de las hoyas de recepcion, aun cuando sus proporciones sean considerablemente mas reducidas: a veces ellos obstruyen repentinamente total o parcialmente la garganta i las aguas se acumulan como en una represa. Si entónces sobreviene una crecida, el obstáculo puede ceder bruscamente, i la masa detenida precipitarse como una avalancha. Es por efectos repetidos de esa naturaleza como se explica el arrastre de bloques de 100 metros cúbicos (Costa).

Por análogos golpes de agua se ha explicado tambien la destruccion de algunos puentes u otros perjuicios extraordinarios relativamente al aspecto no tan temible de la corriente.

Otras veces tales represas en las gargantas pueden ser formadas por la nieve. Como ejemplo, podria citarse una de las proporciones colosales ocurrida en el Canton Grison, (Suisa), a principios del siglo XIX catástrofe espantosa que no pudo ser evitada, a pesar del trabajo mas activo emprendido por los ingenieros para romper el banco de nieve e impedir el acumulamiento de las aguas.

Por sus caracteres especiales, las hoyas de recepcion son, pues, amenudo inestables, ocasionando peligros i estragos absolutamente imprevistos; i aun puede dar lugar a la formacion repentina de fuertes torrentes, como se verán varios ejemplos mas adelante.

Citemos, desde luego, un caso relativamente reciente.

(*) Costa, Les torrents, leurs lois, leurs causes, leurs effets, moyens de les réprimer et de les utiliser; Culmann, Ob. cit., A. de Salis, la correction des torrents en Suisse. Exposé raisonné d'ouvrages executés, redigé par ordre du Département fédéral de l'intérieur, 2 vol. in. 4.º 1891-1892.

«El torrente Laou-des-Bas está situado sobre la ribera izquierda del Pique, afluente importante del Garona.

«Los primeros estragos de ese torrente se hicieron sentir en el mes de Abril de 1865. Hasta entónces habia sido un arroyo absolutamente inofensivo que corria tranquilamente en un pliegue del terreno cubierto de cesped, de árboles i malezas.

«En una sola noche, el torrente se formó i reveló su potencia.

«Formidables resbalamientos se produjeron en la parte superior de la montaña, un ancho i profundo canal de escurrimiento se abrió sobre los flancos i en el fondo del valle una rica plantacion de pinos fué repentinamente sepultada bajo las deyecciones de esta enorme avalancha de tierras i rocas. Así desapareció una espesura de 12 hectáreas, poblada de árboles esplotables que no median ménos de 25 metros de altura.

«Al mismo tiempo, a 12 kilómetros mas abajo, los materiales arrastrados provocaron un depósito que elevó el lecho del Pique, lo que, coincidiendo con una crecida del Onne, produjo la inundacion del llano de Juzet, el que despues ha sido sumergido otras tres veces.

«... Hoi el Laou-des-Bas se presenta bajo un aspecto realmente horroroso. A medida que se penetra en su canal de escurrimiento i que se remonta hasta su hoya de recepcion, se ve el barranco hundirse en las gargantas cuyos taludes abruptos i hendidos se elevan cada vez mas. Esos taludes escarpados, sin cesar minados por la base, se derrumban llenando el lecho del barranco; i a la primera tempestad, las aguas precipitándose con una rapidez vertiginosa desde el embudo superior en el gollete del torrente arrastran esa masa de detritos i la llevan hasta la llanura, amenazando los cultivos, cortando los caminos, sembrando por todas partes la destruccion a su paso. En algunos puntos la ruina es ya consumada; en otros es inminente. Ya las bellas praderas de Jouen situadas mas abajo del cono de deyeccion, comienzan a cubrirse de guijarros. La circulacion, ántes tan activa en este valle, es ahora imposible o estremadamente peligrosa.

«Durante algun tiempo, la administracion municipal de Luchon se obstinó en componer los caminos que sirven a esa estacion termal. Se gastaron asi sumas considerables para reparar los estragos causados por cada borrasca; pero hoi (1878) el mal es tan grande que se ha renunciado. No se necesitarian ménos de 8,000 francos por kilómetro para restablecer un camino que sería fatalmente arrastrado por una nueva crecida.»

(Ministère de l'Agriculture et du Commerce. Exposition Universelle de 1878. Monographies des travaux exécutés dans les Alpes, les Cevennes et les Pyrénées de 1861 a 1878. 1 vol. in fol. i 1 álbum de fotografias, paj. 161 a 163.)

Los desastres que se orijinan por las condiciones particulares de las corrientes torrenciales, pueden no producirse con frecuencia en las proporciones considerables de los ejemplos que hemos citado i de los que se encontrarán mas adelante; pero ello ponen de manifiesto la posibilidad de un peligro repentino i la necesidad de precaverlo.

Por otra parte, tales consideraciones i ejemplos esplican tambien los fenómenos que en menor escala se verifican continuamente.

Lecho de deyeccion.—Ese enorme i continuo trabajo de erosion i desagregacion verificado en la montaña, viene a producir, como efecto en el llano depósitos tambien inmensos, capas de terreno de estension i espesor considerables, formadas por esos materiales de acarreo.

Hai dos causas por las cuales los materiales que acarrea una corriente cesan en su movimiento i se depositan: el ensanchamiento de la corriente o la disminucion de su pendiente, circunstancias ámbas que reducen la velocidad i por consiguiente que debilitan la fuerza de arrastramiento de las aguas.

I desde el instante en que esa fuerza de arrastramiento se debilita suficientemente, no podrá ya continuar impulsando la misma masa de materiales que ántes, i los depósitos empezarán a producirse.

Es lo que sucede cuando las aguas de las hoyas de recepcion caen al valle, los aflujos de fuerte velocidad i cargados de materias, que recorren la garganta, llegan a la llanura en donde encuentran ancho campo para expandirse i pendientes débiles o casi nulas. Los materiales no son ya arrastrados i abundantes depósitos se forman, amontonándose primero a los piés mismos de la montaña, constituyendo esos enormes conos, mas o ménos estendidos, de materiales de acarreo (conos de deyeccion) que, apoyados a los flancos mismos de la montaña, se observan a menudo distintamente en los torrentes.

Poco a poco, esos depósitos van estendiéndose en todos sentidos, a causa de que la corriente es continuamente desviada por su propios depósitos, i el cono ensancha mas i mas su base, confundiéndose frecuentemente con los conos de deyeccion de los torrentes vecinos.

El valle se irá rellenando asi con aluviones, formándose ese vasto lecho de deyeccion sobre el cual la corriente continúa su curso, prosiguiendo su eterno trabajo de nivelacion degradando las alturas i rellenando las hondonadas.

INESTABILIDAD DE LA CORRIENTE EN EL LECHO DE DEYECCION

Perfil de compensacion.—Resumamos desde luego, siquiera sea en dos palabras, las leyes que se observan en el arrastramiento de los materiales en el lecho de deyeccion, lo que facilitará los razonamientos que haremos valer mas adelante.

Tomemos, como lo hace M. Costa, una corriente torrencial en uno de sus momentos de tranquilidad, entre dos crecidas.

Entónces el agua es clara, el caudal que corre en la unidad de tiempo es constante i se ve a la corriente quebrarse, dividirse o cambiar frecuentemente de direccion, por efecto de las piedras que encuentra en su cauce, buscando su curso por entre las depresiones que dejan esos obstáculos.

Si en seguida va aumentando el caudal, irá tambien aumentando el empuje o fuerza de arrastramiento del agua, desde las rejiones superiores comenzará a ceder primero las piedras mas pequeñas i, a medida que continúa creciendo el empuje, irán despues siendo arrastrados los materiales mas voluminosos.

Cuando los materiales, por su pequeña cantidad, no se estorban los unos a los otros en su movimiento, la velocidad de que irán animados será tanto menor cuanto de mayor

tamaño será el guijarro, el pequeño grano de arena correrá impulsado con una gran velocidad, al paso que las grandes piedras rodarán lentamente. Así se va haciendo una especie de separación de los materiales i se dice que el transporte es por *seleccion*.

Pero cuando la abundancia de materiales arrastrados es extrema, de modo que choquen continuamente entre sí, los unos serán detenidos por los otros i todos tenderán a moverse con una misma velocidad media. Se dice entónces que hai transporte en *masa*.

En el caso de gran abundancia de materiales, frecuente en las altas hoyas de recepción, la corriente se carga hasta *saturación*, es decir, transporta la cantidad máxima de materias que su fuerza de arrastramiento puede impulsar. Si por ensanchamiento del cauce o por disminución de la pendiente, la velocidad se debilita, aunque sea en cantidad insignificante, la corriente alijera su carga, abandona una parte de los materiales, conservando sin embargo su saturación, o sea reteniendo la cantidad que con su nueva velocidad puede arrastrar,

En este caso, cuando empieza a disminuir la velocidad, los materiales mas pesados, los mas voluminosos, serán los primeros que cesan de ser arrastrados i los mas pequeños, las arenas, serán los últimos en depositarse.

Por ésto es que si, por disminución gradual de la pendiente, o por otra causa, la velocidad de la corriente va constantemente disminuyendo desde la montaña hasta el extremo opuesto del valle, se encontrarán que los materiales que componen el lecho van tambien disminuyendo de volúmen en ese mismo sentido, salvo el caso en que esta lei sea accidentalmente contrariada por perturbaciones especiales, como las ocasionadas por los afluentes u otros.

De lo anterior se desprende que los materiales de un mismo volúmen tienden a agruparse, depositándose en un mismo trozo del lecho, i a tomar una misma pendiente, que corresponde al límite mas allá del cual el valor que tomara la velocidad los pondria de nuevo en movimiento.

Esa pendiente máxima que pueden tomar los materiales de cierta dimension sin ser arrastrados por la corriente, es la *pendiente de compensación* de dichos materiales.

El cauce tiende pues a ser constituido por una sucesión de pendientes de compensación diversas; es decir tiende a tomar su perfil de compensación, alcanzado el cual ya no habria depósitos, los materiales que descienden de la montaña no harian sino pasar por el álveo.

Pero la estabilidad de este perfil de compensación es precaria; las pendientes que lo constituyen son esencialmente variables, como el estado de torrencialidad a quien compensan.

Solo se mantendrá sin modificación, mientras no sufran alteraciones la fuerza de arrastramiento de las aguas i la cantidad i dimensiones de los materiales arrastrados.

La pendiente de compensación, es pues, relativa a un estado determinado de torrencialidad.

Resumiendo, tenemos que, por una parte, el orden en que se depositan los materiales, con respecto a su volúmen, es gradualmente descendente, los mas voluminosos, que

se depositan primero, a la salida de la montaña, marcan un extremo de esa gradacion; los mas finos, las arenas, que se depositan los últimos, se les encuentra en el extremo opuesto del valle.

Por otra parte, tenemos que esos materiales tienden a tomar sus pendientes de compensacion respectivas.

I como, para una fuerza de arrastramiento dada, los mas voluminosos materiales podrán mantenerse bajo mas fuertes pendientes sin ser arrastrados, o en otros términos, como la pendiente de compensacion es mayor a medida que los materiales son mas voluminosos, resulta que, como se observa en la realidad, la pendiente del cauce va aumentando a medida que nos acercamos a la montaña, lo que equivale a decir que el perfil longitudinal del álveo seria una curva cóncava hácia el cielo.

La longitud en que domina cada uno de los diversos trozos de pendientes diferentes, estará en relacion con la abundancia de los materiales que a esa pendiente corresponden: si la cantidad de materiales de cierta categoría tiende a aumentar, la pendiente de compensacion que les corresponde tenderá tambien a desarrollarse en una mayor estension; i si las cantidades de materias de todas las clases tienden a aumentar a la vez, tenderán a aumentar asimismo la estension de todas las pendientes respectivas. En este último caso la corriente tenderá a alargar su curso; i si no lo puede hacer alejando su desembocadura, tratará de realizarlo con sinuosidades mas o ménos numerosas i pronunciadas.

A la inversa si por una causa natural cualquiera, o por los trabajos del hombre, como los que constituyen el sistema de correccion empleado con tanto éxito en Francia, se reduce notablemente la cantidad de materiales acarreados, la corriente se saturará con los depósitos anteriores de su cauce, es decir, se encajonará en sus propios depósitos mas o ménos rápidamente i el perfil longitudinal del lecho irá bajando hasta que la resistencia de los materiales mas movedizos haga equilibrio a la fuerza de arrastramiento, en este caso el agua concluirá por no arrastrar nada.

Este último es el perfil llamado *perfil de equilibrio*.

Veremos mas adelante cómo los trabajos franceses han logrado que numerosos torrentes tomen su perfil definitivo de equilibrio.

Creemos que las consideraciones jenerales anteriores esplican suficientemente la razon de la inestabilidad de las corrientes torrenciales en su lecho de deyeccion.

Se comprende, sin embargo, que los fenómenos del arrastramiento i depósito de materiales no se produzcan obedeciendo solamente a principios tan regulares como los que hemos espuesto, sino que al mismo tiempo intervienen otros diversos factores que tienden a introducir perturbaciones o a hacer mas lenta la accion de las leyes jenerales indicadas.

Asi, por ejemplo, cuando la corriente arrastra su carga de saturacion, aun cuando no aumente su velocidad puede producir socavacion, para lo cual basta que los materiales del cauce, por sus dimensiones reducidas o por su débil cohesion, ofrezcan una menor resistencia al arrastramiento que la que corresponde a la velocidad que conservan las

aguas. Pero en este caso, la nueva cantidad de materiales arrastrados traerá como consecuencia un depósito equivalente de materiales mas voluminosos, en razon de que cada nuevo trabajo, cada nuevo peso impulsado, produce una disminucion de la velocidad. En tales condiciones, la corriente tenderá a arrastrar siempre los guijarros mas pequeños reemplazándolos por otros mas grandes; es decir, de esta manera la resistencia del cauce tiende a aumentar, a hacerse mas estable.

Para no estendernos demasiado, nos limitaremos, contra nuestros deseos, a esas suscintas ideas jenerales sobre las leyes que rijen el trasporte i depósito de materiales, ejecutado por las corrientes; consideraciones que hemos estimado indispensables ántes de estudiar las ventajas e inconvenientes de los diversos sistemas de defensas empleados.

Como resumen, podríamos, pues, decir que la razon de las numerosas perturbaciones a que está sujeta una corriente en su lecho de deyeccion es esa série de fenómenos i de acciones complejas que se producen incesantemente i que tienden en cada instante a establecer el equilibrio entre el estado de torrencialidad o, si se quiere, entre la fuerza de arrastramiento, i las condiciones de resistencia del cauce.

De ahí que principalmente esa rejion de la corriente sea la mas inestable i ofrezca los mayores peligros.

En efecto, ella sigue su curso sobre un terreno de trasporte, compuesto de pequeños materiales sin cohesion, que solo ofrece una débil resistencia a las continuas variaciones del estado de torrencialidad i que ceden, en consecuencia, fácilmente a todas esas variaciones. Por ésto, el cauce está limitado por riberas, no solo poco firmes, sino poco marcadas, que se derrumban constantemente bajo la la accion atmosférica o de la corriente misma.

En una palabra, el cauce situado sobre el lecho de deyeccion es demasiado ancho i poco profundo, facilita las divagaciones, no ofrece obstáculos a la inundacion de los valles adyacentes ni a ser roto para dar lugar a corrientes laterales que son mui amenudo desastrosas para los accesos i apoyos de los puentes.

A estos inconvenientes, vienen a agregarse los que orijinan las corrientes secundarias que desaguan en la que sigue su curso sobre el lecho de deyeccion. Tales corrientes secundarias, que por lo jeneral son de mayor pendiente que la principal, arrastran una cantidad de materiales que suele ser considerable en las grandes crecidas i que podrán ser tanto mas voluminosos cuanto mayor sea la pendiente.

Ahora bien; al desaguar estas corrientes secundarias en la principal, lo mas amenuado, como hemos dicho, encontrarán en el nuevo cauce menor pendiente i mayor ancho en la seccion, es decir, segun se ha visto, dos condiciones para que se verifique una disminucion de la fuerza de arrastramiento, lo que da lugar a la formacion de depósitos.

En suma, en el caso contemplado hai analogía con el fenómeno de la formacion de los deltas.

A medida que la crecida disminuye, los nuevos depósitos tienden a arreglarse segun su pendiente de compensacion, es decir, segun la pendiente máxima que dichos materiales pueden tomar sin ser arrastrados, pendiente que es mayor que la que le corresponde

a los antiguos materiales del lecho de la corriente principal, puesto que estos últimos son de dimensiones mas reducidas que los primeros.

De esta suerte, las crecidas sucesivas irán produciendo un levantamiento del lecho en cada confluencia, levantamiento que se irá propagando poco a poco en los dos sentidos de la corriente, lo que explica el fenómeno no raro de observarse trozos, a veces considerables, de rios cuyo cauce se encuentra en relieve sobre el valle.

«Seria un error de creer—dice el profesor M. Thiéry—como lo han afirmado ciertos autores, que las grandes crecidas del rio principal sean capaces de barrerlo todo a su paso; porque en los momentos en que se producen estas grandes crecidas las aguas estan saturadas i no pueden volver a tomar una parte de los depósitos sino abandonando un peso igual de guijarros mas voluminosos. No habria escepcion a esta regla sino en el caso en que las aguas, aumentando accidentalmente de velocidad, en un pasaje mas estrechado, por ejemplo, adquirieran una fuerza de arrastramiento mas considerable; pero los materiales arrastrados así, i arrebatados a los depósitos ya formados, se detendrian fatalmente mas abajo, en los puntos en que, a causa de la disminucion de la pendiente o del ensanchamiento de la seccion, la fuerza de arrastramiento recupere su valor primitivo.»

Como ejemplo de los hechos que acabamos de esponer, relativos a las perturbaciones introducidas por los afluentes, el mismo autor toma de M. Ph. Charlemagne, el caso del *Drac*, que corre en el departamento del Isère.

El *Drac*, despues de desarrollar su curso sobre un vasto lecho de deyeccion, continúa en un cauce estrechado que aumenta la velocidad de la corriente hasta poder producir el arrastre de los materiales. Estos materiales, despues de pasar por un nuevo estrechamiento, penetran por fin en la parte protegida con diques, en donde los materiales se depositan i van elevando el lecho hasta la confluencia del Isère. En el puente de hierro el lecho se encuentra suspendido ya a 2 metros sobre las calles de la importante ciudad de Grenoble, situada sobre el Isère, casi en la confluencia del *Drac*.

«No se poseen documentos, continúa M. Thiéry, que permitan apreciar la importancia de esa elevacion del lecho; pero digamos, sin embargo, que en el puente suspendido se estraen todos los años 40,000 metros cúbicos de piedra para los trabajos de conservacion de las calzadas o para las construcciones de la ciudad i que en cada crecida el rio nivelando su lecho hace desaparecer toda señal de escavacion.

«Los desórdenes causados en el Isère por los acarreos del *Drac*, agrega mas adelante M. Thiéry, son todavia mas graves que los que resultan de la elevacion de que se ha hablado. A partir de la confluencia hasta las gargantas de San Gervais (unos 30 km.) el Isère corre casi al nivel del suelo con una pendiente mui suave, apropiada solo al arrastre de las arenas i de las pequeñas piedrecillas; mas allá el rio se encajona profundamente i la pendiente es mas fuerte. Cuando los guijarros del *Drac*, cuyas dimensiones alcanzan a 10 i 20 centímetros, penetran en el Isère, tienden a tomar su pendiente de compensacion; de donde resulta fatalmente la formacion de una presa cuyos efectos pueden llegar a ser desastrosos.

«Siendo a lo ménos de 2 milímetros la diferencia que existe entre las pendientes, límites que corresponden a los guijarros del *Drac* i a los del Isère, si se multiplica ese número por la distancia (30 km.) que existe entre la confluencia i las gargantas de San

Gervais (en donde ya no se producen los depósitos), se llega a la enorme cifra de 60 metros. Luego, pues, si partiendo de San Gervais se remonta el curso del Isère con una pendiente superior en 2 milímetros a la que existe actualmente, se llega a la confluencia del Drac con una altura de 60 metros por encima del lecho actual.

«Resulta de ahí, añade, que si el Drac continúa trasportando tantos materiales como antes i si los diques del Isère no se levantasen indefinidamente, la ciudad de Grenoble concluirá por quedar sumergida bajo una profundidad de mas de 50 metros de agua.

«Pero para eso se necesitarían evidentemente miles de años. *Mucho antes que esta catástrofe pueda cumplirse, la elevación del Drac habrá causado desastres parciales que harán alejarse poco a poco los habitantes del valle.*

«Sea de ello lo que fuere, desde ahora la situación está llena de peligros. Los sondeos comparativos hechos en 1854 i en 1880 dan los siguientes resultados:

«En 26 años el Drac ha arrojado en el Isère un millon de metros cúbicos, sea 38,000 metros cúbicos por año. La elevación del Isère hácia arriba de la confluencia es de 12 milímetros anualmente; en la confluencia el fondo se eleva en 37 milímetros por año.»

Si este estado de cosas continuase en las mismas condiciones, concluye M. Thiéry, en ménos de un siglo el lecho actual del Isère quedaria completamente obstruido i la ciudad de Grenoble condenada inevitablemente a la ruina.

M. Charlemagne, en su estudio sobre la urgencia de las defensas de Grenoble, cita otro caso mui especial en que los acarrees arrojados por las corrientes secundarias han producido una espantosa catástrofe en esa ciudad.

A unos cuantos kilómetros de Grenoble, corre el Romanche, tributario del Drac de que hemos hablado.

Sobre ámbas orillas del Romanche, en un mismo punto, desaguan uno enfrente del otro los torrentes Vaudaine e Infernet. El año 1191, una crecida simultánea de ámbos torrentes obstruyó por completo el curso del Romanche con un amontonamiento de piedras de una altura considerable. Las aguas inundaron todo el valle de Bourg d'Oisans, que queda aguas arriba de esa confluencia, formando un lago de 20 metros de profundidad que duró 23 años i que fué denominado lago San Lorenzo, en recuerdo del día de su formación.

En la noche del 14 de Setiembre de 1219, la presa que contenia el lago fué arrasada i una verdadera tromba se precipitó sobre los valles inferiores destruyéndolo todo a su paso i llevándose el puente de Claix. La tromba, siguiendo el cauce del Drac, llegó a Grenoble a las diez de la noche; el Isère fué obstruido i las aguas se elevaron en la ciudad hasta la llave de la bóveda de la puerta principal de la Catedral, es decir, a ocho metros sobre la plaza de Notre-Dame.

Los habitantes de la ribera izquierda del Isère no tuvieron sino el tiempo de buscar refugio en las casas mas elevadas, en las torres i campanarios; muchos corrieron al puente para atravesar el rio i guarecerse en la montaña, pero desgraciadamente estaba cerraba la puerta que existia en el medio del puente i, ántes que se pudiese abrirla, las aguas se elevaron por encima del pretil o baranda arrastrando con ellas la mayor parte de los fu-

jitivos. Varios miles de personas encontraron la muerte en el diluvio de 1219, dice M. Charlemagne.

Las inundaciones i desastres producidos en esos valles cruzados por corrientes torrenciales, se han repetido con suma frecuencia. En el siglo que acaba de terminar, numerosos i considerables han sido los perjuicios sufridos por Grenoble, la destruccion de las vias de comunicacion, etc.

El 2 de Noviembre de 1859, las aguas subieron 5.35 m. formando un lago de todo el valle; los diques fueron cortados, las comunicaciones por ferrocarril interrumpidas largo tiempo, las aguas se elevaron en Grenoble a 1.36 m. sobre la plaza Grenette i durante dos semanas enteras fué suspendido el servicio de inhumacion.

Con motivo de estos desastres, refiriéndose M. Thiéry a lo contraproducente de las modificaciones introducidas en los cauces por medio de defensas locales, dice: «Está fuera de duda hoi dia que al lado de las causas meteorológicas que se han manifestado por la abundancia de las lluvias i de las nieves, otras dos causas han desempeñado un papel importante en la reproduccion de tales crecidas; estas dos causas son, por una parte, las modificaciones introducidas en los lechos de los rios; por otra parte, la destruccion de los bosques i de los pastos que han producido la formacion de los torrentes.»

Particularizándose con las vias de comunicacion, espresa el mismo autor que se han emprendido trabajos de defensas para forzar a las deyecciones a depositarse fuera de la via; pero cuando estas atraviesan torrentes en plena actividad, «esos trabajos no tienen jamas sino un carácter provisional;» de ahí se deriva «una molestia considerable para los trasportes i gastos mui sérios todos los años.»

«Para los ferrocarriles, continúa, el mal es todavía mayor, porque en ellos es necesario procurar a toda costa que no se interrumpa la circulacion, tan grave para la industria i tan costosa para las empresas »

II

DEFENSAS LOCALES

Hemos dado, a la lijera, las características de las corrientes torrenciales; hemos espuesto las perturbaciones a que estan sujetas i señalado los peligros, a veces súbitos e imprevistos, que pueden orijinar.

Hemos visto tambien que el lecho de deyeccion es el mas espuesto a las perturbaciones i estragos del régimen torrencial e inútil nos parece agregar que son esos precisamente los terrenos que representan mayor riqueza agrícola i en donde, por tal causa, tienen mas importancia las vias de comunicacion, i por consiguiente, los puentes.

Particularizándonos con estas obras de arte, pasemos ahora a estudiar los medios de defensas locales que, durante mucho tiempo en Francia, se usaron casi esclusivamente para proteger las obras de arte contra los efectos de las corrientes torrenciales i a los que actualmente, sin escepcion, tambien se recurre todavía en nuestro pais.

Suponemos, como es natural, un puente construido a conveniente altura.

En tales condiciones, la corriente puede ocasionar su destruccion de tres maneras:

a) Por efecto de la divagacion, las aguas se concentran oblicuamente contra los apoyos o, destruyendo el terraplen de acceso, atacan los estribos por el lado de las tierras.

b) Los depósitos de los materiales arrastrados por la corriente tienden a obstruir el desagüe i a levantar el lecho.

c) La corriente produce socavaciones importantes en los apoyos de la obra.

Las obras de defensas locales que mas se han empleado en estos casos son las siguientes:

a) *Proteccion de las riberas o defensas contra la divagacion.*— En este caso se recurria a *diques aislados o completos.*

Los primeros (trozos cortos de diques, espigones, javas con piedras, etc.,) tienen por objeto proteger un punto especialmente amenazado de la ribera o estan destinados a desviar la corriente.

No se necesita insistir acerca de que estas obras tienen un carácter meramente provisional. Jeneralmente su construccion misma, obedeciendo a ese propósito, es lijera; i al proyectarla no se persigue seriamente corregir ni modificar nada en el régimen mismo de la corriente, procurándose solo evitar o, mas propiamente, atenuar un daño por un tiempo mui limitado, sin preocuparse de los efectos ulteriores.

A menudo esas obras tienen ademas el grave inconveniente de arrojar las aguas con violencia sobre la otra ribera, en donde van a causar talvez daños mas considerables.

Si la construccion es mas costosa, no por eso dejarán frecuentemente de ser de carácter provisional por las mismas consideraciones que para los diques continuos hacemos valer a continuacion.

Diques continuos.— Se les emplea tambien para proteger las riberas, disponiéndolos a lo largo de una o de ámbas de ellas.

Jeneralmente se construyen con mas esmero i con fuertes gastos, abrigándose la esperanza de obtener con ellos una defensa de carácter definitivo.

Desde luego, podemos hacer notar que en ese caso presentan el inconveniente de que su costo subido reduce mucho su empleo.

Ademas, tratándose de corrientes de régimen torrencial, procuraremos hacer ver que solo mui escepcionalmente esas soluciones dejarán de ser tambien provisionales.

En toda corriente que divaga, se observa la siguiente propiedad que, por lo demas, se explica racionalmente: siempre que en el cauce se presente un obstáculo resistente (una saliente de roca, una ribera escarpada o una obra de arte, como un dique), la corriente tiene la tendencia de atacarlo, de concentrarse en dicho obstáculo. I, como hemos dicho, se explica esa particularidad: todo obstáculo que contrarie la corriente produce movimientos tumultuosos que orijinan una socavacion, concluyendo las aguas en esos puntos por labrarse una mayor cavidad, en la que la corriente tiene tendencia de mantenerse.

Así sucede con los diques: basta que una causa cualquiera arroje la corriente contra ellos, para que a sus piés se produzca un arrastramiento de materiales, que es favorecido ademas por el menor rozamiento desarrollado contra la pared del dique, principalmente

si es vertical, formándose de ese modo una especie de canal en el que se observa que la corriente concluye por establecerse definitivamente contra el dique.

Se observa tambien en tales casos que la corriente, despues de continuar cargada hácia el dique cierto trayecto, es en seguida arrojada violentamente a la ribera opuesta. I esto en razon de que habiendo socavado mas, los depósitos serán tambien mas abundantes una vez que la fuerza de arrastramiento se debilita. Son estos depósitos los que tienden a arrojar la corriente a la otra orilla en la que pueden, por tal motivo, producirse perjuicios de consideracion.

Es esa propiedad de atraer la socavacion, si así podemos decir, la que coloca a los diques en condiciones mui desfavorables de resistencia, haciendo de ellos un medio poco seguro de defensa contra las corrientes torrenciales, particularmente si esas obras son construidas en el lecho de deyeccion, es decir en terreno fácilmente socavable, lo que es el caso mas jeneral.

Por esto M. Thiéry dice que esos diques estan condenados a una ruina inevitable.

Tales son, en resúmen, los inconvenientes que con gran uniformidad imputan a los diques los ingenieros que, por sus trabajos sobre las defensas contra las corrientes torrenciales, son autoridad en la materia (*).

Las socavaciones a los piés de los diques «suelen producirse aun cuando pareciera que jamas pudieran temerse las erosiones, que es lo que sucedió en el Chorges, torrente que *elevaba* su lecho con una rapidez asombrosa i en el que, por lo tanto, se confiaba en que nunca socavaria.» (Surell, t. I, páj. 76) Como lo dice M. Costa, son otras las ideas que deben dominar en los proyectos de defensas: «Mientras que las obras de defensas, en apariencia las mas sólidas, eran destruidas en algunos instantes, se veia con admiracion un simple pié de cabra resistir victoriosamente a todos los asaltos. Este débil obstáculo quiebra la fuerza; el agua pasa a traves; una disminucion de velocidad se produce, lo que determina un depósito que viene a consolidar el débil obstáculo. En jeneral, cuando se quiere luchar contra un torrente, no se alcanza éxito si se opone una resistencia completa. Es por el quebrantamiento de la fuerza como se lo obtiene.» (Costa, páj. 107).

Es así, podemos agregar, como en Italia, en un caso en que numerosas defensas habian fracasado, se ha obtenido hace poco los mas lisonjeros resultados empleando enredados de alambres que oponen mui débil resistencia a la corriente.

Veremos tambien mas adelante que el sistema de defensas seguido en Francia consulta así mismo esas ideas.

Las socavaciones que tan fácilmente se producen en los diques, no son una razon para concluir que por sí mismo esas obras eviten los depósitos. Segun lo hace ver M. Surell, esos depósitos se producirán de preferencia alejados del dique, serán solamente mas lentos cerca de él; pero de todos modos los materiales acarreados irán elevando continuamente el lecho i bien pronto habrá necesidad de elevar a su vez el dique.

(*) Podríamos, especialmente, citar las obras de Surell, Costa, De Cézanne, etc., en Francia; i las de Culmann i A. de Salis, en Suiza.

Continuando así, el peligro aumenta puesto que la corriente concluirá por quedar por encima de los terrenos vecinos i los diques mas espuestos a ceder como consecuencia de las elevaciones sucesivas.

Numerosos son los ejemplos que se citan de diques que han sido sobrepasados por el lecho, i ya hemos hablado de algunos de esos casos verificados en Grenoble. El de Chorges, de 6 m. de altura, a pesar de haber sido socavado, como dijimos ántes, i continuamente reconstruido, fué sobrepasado en 15 años.

b) *Defensas contra los depósitos.*—Tambien se han empleado los diques continuos, o sea el encauzamiento de la corriente, para evitar los depósitos. I cuando esta canalizacion se apoyaba sobre terreno firme, o cuando se protejia el suelo con un radier, de manera a no temer las socavaciones, se creia que era la solucion ideal.

Veremos que cuando se trata de corrientes que arrastran materiales, esas esperanzas no son bien fundadas.

Antes hemos dicho que son dos las causas por las cuales se depositan los materiales acarreados: el ensanchamiento de la seccion o la disminucion de la pendiente.

En las corrientes cuyo lecho de acarreo o de deyeccion tiene ya la pendiente de compensacion de los materiales, o sea la mayor pendiente que ellos pueden tomar sin ser arrastrados, no podrán, por lo tanto, producirse depósitos de esos materiales sino en virtud de la primera causa señalada, es decir, por una disminucion de la velocidad debida a un ensanchamiento de la seccion.

En este caso, es posible hacer cesar dichos depósitos estrechando el lecho.

Pero cuando, al contrario, la pendiente no ha llegado todavía a ese límite que corresponde al arrastramiento de las materias, éstas continuarán depositándose, «hágase lo que se haga» (Surell).

En efecto, colocándonos en este caso, supongamos que con auxilio de diques hayamos estrechado suficientemente la seccion, de manera que los materiales desprendidos de la cordillera i acarreados por la crecida no hagan sino pasar por la parte canalizada, sin detenerse en ella.

En tales condiciones, decimos, no queda conjurado todo peligro. Desde luego esos materiales irán a producir depósitos mas abundantes aguas abajo de la canalizacion, donde son diversas las condiciones de seccion i de pendiente. De aquí que puedan originarse mas serios perjuicios que ántes para esos terrenos de aguas abajo.

Ademas, en las partes de aguas arriba del canal, en que la velocidad es menor, por ser mayor la seccion o menor la pendiente o ámbas cosas a la vez, se continuarán produciendo los depósitos. De este modo el trozo canalizado se encontrará entre otros dos que van elevando gradualmente sus lechos, de donde resulta que concluirá por producirse un cambio mas o ménos brusco en la pendiente a la entrada del canal.

Ahora bien; esta pendiente irá aumentando, tendiendo a la pendiente de compensacion de los materiales, de manera que el trozo canalizado llegará a encontrarse con una pendiente inferior a la de aguas arriba; i cuando la velocidad perdida por esta disminucion de pendiente sea superior a la ganada por el estrechamiento de la seccion, empezarán a producirse los depósitos en el canal, los que serán todavía favorecidos por la contrapendiente que tiende a producirse aguas abajo.

Cuando, como efecto de la elevacion del cauce de aguas arriba del canal, los perjuicios empiezan a hacerse mas i mas sensibles en los terrenos adyacentes, se sentirá la necesidad de nuevas defensas i bien pronto se recurrirá a prolongar en ese sentido el encauzamiento. En un principio se obtendrán así buenos resultados: la reduccion del ancho aumentará la velocidad de las crecidas i las aguas empezarán de nuevo a encauzarse en sus propios depósitos; pero despues de cierto tiempo comenzarán a producirse los mismos fenómenos e inconvenientes que acabamos de esponer.

Se ve, pues, que en las condiciones indicadas, aparte de los mayores perjuicios que pueda sufrir el valle aguas abajo, no podrá mirarse la canalizacion como una defensa absolutamente definitiva. Su ineficacia o deficiencia se hará sentir en un plazo mas o ménos largo que dependerá del grado de torrencialidad; pero si las rejiones superiores, montaña o cordillera, proveen a la corriente de abundantes materiales, forzosamente se verifican los fenómenos señalados.

Es cierto que a menudo tales materiales, por su cantidad reducida, podrán alejar los temores hasta una época bastante remota; pero, segun se verá mas adelante, ese exámen no basta i no se puede prudentemente basar ninguna confianza en tales observaciones si no se apoyan en el estudio mas directo de la hoya de recepcion i de las causas mismas del réjimen torrencial; pues numerosos son los ejemplos de corrientes que han manifestado durante largo tiempo una torrencialidad nula o moderada i que repentinamente han pasado a hacerse cada vez mas violentas, como en el caso del Laou-des-Bas citado ántes.

A propósito de los inconvenientes o insuficiencia de las defensas que venimos estudiando, fácil es encontrar gran número de ejemplos, que creemos escusado citar. Sin embargo, algunos de ellos se encontrarán mas adelante, al esponer los principios que actualmente se siguen en materia de defensas contra las corrientes torrencales; i, por tratarse del torrente Laou-des Bas, de que acabamos de hablar, agreguemos que a continuacion de los desastres por él causados se emprendieron inmediatamente defensas considerables por medio de diques, trabajos sobre los cuales el documento oficial, ya citado, se espresa:

«Pero el remedio empleado era, sino ineficaz, a lo ménos de una completa insuficiencia. Para detener el mal, era necesario combatirlo en su oríjen; para prevenir su vuelta era preciso luchar contra las causas primeras que lo habian producido, es decir, modificar el réjimen de la hoya del Pique.» (Monographies, etc., páj. 175).

Inútil parece agregar que, en conformidad con esas ideas, se abandonaron los diques i se emprendieron los trabajos en la hoya de recepcion.

De todo lo que precede no se concluye que los diques, como medio de defensas locales, sean absolutamente condenables. Solamente hemos espuesto los inconvenientes que presentan en condiciones determinadas que son, eso sí, las ordinarias del réjimen

torrencial, inconvenientes tanto mas necesarios de ser tomados en cuenta cuanto mas subidos son los gastos que imponen esas construcciones.

En circunstancias diversas, en rios tranquilos, los diques pueden ser mui útiles como defensa de las riberas; como pueden serlo tambien en corrientes torrenciales si, completando la defensa, se evitan las causas que los inutilizan o los hacen peligrosos.

Pero, por lo ménos, los razonamientos que hemos espuesto sobre esas obras prueban, de una manera absoluta, que—talvez contra una creencia mui jeneralizada—el encauzamiento de una corriente torrencial, no siempre posible, es en todo caso un problema complejo i delicado que no debe resolverse, como es comun, a la lijera i por simple impresion.

Es necesario a toda costa—permítasenos insistir—realizar la condicion casi única i esencial, señalada por M. Surell, «que el torrente, una vez encauzado en el canal, no se eleve mas. La elevacion es un mal sin remedio, al cual no se podrian aplicar sino temperamentos provisionales que lo retardan pero que no lo detienen.» (páj. 77).

El mismo eminente ingeniero espresa que ya ántes que él llegaba a iguales conclusiones M. Montluisant en una memoria inserta en los *Annales des Ponts et Chaussées*; en la que, respecto al ancho que se debe dar a la seccion encauzada, decia: «La determinacion de este ancho requiere muchos detalles. . . . Bástenos decir, como resultado de una larga esperiencia, que un ancho demasiado grande tiene los mas graves inconvenientes i que *el encauzamiento de los torrentes está sometido a numerosas consideraciones importantes i delicadas que merecen toda la atencion de los ingenieros.*»

En efecto; habria que estudiar prolijamente en cada caso las condiciones del régimen para fijar la *seccion*, la *direccion* i la *pendiente* del trozo canalizado; puesto que de esos tres elementos depende la estabilidad de la corriente.

Ahora bien, la determinacion acertada de tales elementos es de lo mas difícil en el régimen torrencial por el gran número de factores que intervienen. Así, por ejemplo, pareciera que el exámen de las materias depositadas en el lecho, proporcionara los mejores datos; pero sin embargo, como mui bien lo hace observar M. Surell, ese exámen no enseña nada sobre la manera cómo han sido conducidas, lo que es de la mayor importancia conocer.

Solo aparecen a la vista las muestras de un fenómeno ya realizado; pero se ignora lo que es el fenómeno en accion. Por ejemplo—agrega el mismo autor—una accion súbita i de corta duracion que arrojara inopinadamente en el canal una masa considerable de materias, seria mucho mas temible que una accion mas prolongada i ménos violenta que condujera el mismo cubo de aluviones. La diferencia está, pues, en la duracion de la accion i este elemento no es dado por la inspeccion del lecho. (Surell, t. I, páj. 79).

«En resúmen, dice M. Thiéry, si por el encauzamiento se puede esperar el arrastre de una mayor cantidad de materias que ántes, ello no se obtendrá sino sobre una lonjitud restrinjida i por un tiempo determinado, i los hechos han demostrado con esceso, por los ménos en los rios de la hoya del Ródano, que de ese sistema no se puede hacer la base de una regularizacion permanente del lecho.»

Otro medio de defensa empleado para evitar los depósitos i divagaciones, es abrirle al torrente un canal regular en medio de sus propios aluviones i mantener ese canal limpiándolo frecuentemente, fortificando al mismo tiempo los taludes de las riberas con piedras i plantaciones.

Desde luego, nótese que este sistema se asimila al de canalizacion por medio de diques continuos, con todos sus inconvenientes i con ninguna de sus ventajas, a no ser una economía engañadora.

Despues de lo que hemos dicho sobre los diques, se ve que con el nuevo procedimiento que estudiamos, la defensa de las riberas no será suficiente i la elevacion del lecho no se evita.

Como dice M. Surell, «este sistema equivale a atribuir los estragos de los torrentes a la irregularidad de sus lechos, puesto que para hacerlos cesar se propone, como remedio único i suficiente, el regularizarlo. Esto es tomar el efecto por la causa. Si los torrentes se esparcen aquí i allá, no es por falta de lecho regular, sino que no tienen el lecho regular por la razon de que depositando constantemente son arrojados continuamente del lecho que ocupan de un modo momentáneo.

Se ensayó el procedimiento en el torrente de Vachères; cuatrocientos presos de Embrun abrieron, por órden del prefecto, una especie de canal en línea recta desde la garganta la Durance. Este trabajo, penoso a causa de los gruesos bloques i de la tenacidad del limo que los envolvía, duró un mes; pero al mes siguiente sobrevino una crecida i todo fué destruido.»

c.) *Defensas contra la socavacion de los apoyos.*—Lo mas a menudo, no proviene este peligro de que el desagüe que presenta el puente sea deficiente, sino de que los apoyos i estribos hacen el papel de diques u obstáculos, es decir, atraen la socavacion i la corriente se concentra contra ellos, no repartiéndose uniformemente entre ambos estribos.

La defensa mas recomendada por la esperiencia en estos casos es el *radier*.

Los radiers son destruidos casi siempre por erosion, que se produce aguas abajo.

Por esto es necesario arrojar, ahí i hasta gran distancia del muro de caida, gruesos bloques que pueden ser contenidos aun por algunos pilotes. Ha dado asimismo buenos resultados el encadenar los bloques los unos a los otros por anillos de hierro (puentes de Verderel, Lasalle, Reguigné, etc.)

Debe evitarse, por ser jeneralmente contraproducentes, el construirlos con enrocados arrojados en desórden, que tienden a desviar violentamente la corriente aumentando en otros puntos las socavaciones, sino que, por el contrario, los radiers conviene ejecutarlos con bloques bien dispuestos como un empedrado, de superficie lo mas lisa posible.

Es conveniente ademas que el radier no sea horizontal sino que tenga la pendiente longitudinal del rio; i en el sentido trasversal deben ser bastante cóncavos a fin de que las aguas, a medida que disminuyen de volumen, se encaucen en el fondo de la curva, lo que dificultará los depósitos. Por esto mismo debe cuidarse de limpiar constantemente ese punto medio pues las pequeñas crecidas pueden ir rellenándolo; miéntras que manteniendo un pequeño cauce central, las aguas, cuando aumentan de volumen, lo irán ensanchando por sí mismas, poniendo en descubierto el radier. (Surell).

Como se ha visto, si se exceptúan los radiers, los sistemas de defensas locales que hemos venido estudiando, que han sido empleados en Francia durante mucho tiempo i que «no han dado el resultado que se esperaba», no son completamente seguros i eficaces en las corrientes i suelen a veces solo trasladar un poco mas léjos los perjuicios, agravándolos notablemente a menudo, lo que, por lo jeneral, basta en Francia para desechar tales soluciones.

I por cierto que es bien justificado que se gaste toda suerte de esfuerzos para estudiar cuidadosamente las obras de defensa de modo que no vayan a agravar mas aun las condiciones de los valles agrícolas, espuestos ya por sí solos a los estragos de las inundaciones.

Cuando una obra de arte se deteriora, o aun es destrozada por las aguas, el daño es considerable i con razon suscita alarmas; pero felizmente, casi sin escepciones, el mal no es irremediable.

Aun cuando los ánimos no se inquietan tanto, sucede precisamente lo contrario con los terrenos de cultivo barridos por corrientes de fuertes velocidades; esas tierras, mui a menudo, o son devoradas en grandes estensiones, o van siendo privadas constantemente de sus mejores elementos fertilizantes, los que no son fáciles de recuperar.

De aquí que frecuentemente estos últimos perjuicios suelen afectar de un modo mas grave los intereses jenerales de un pais i por esto es pues natural prever que la iniciativa individual, o sea la del Estado, no tardarán en avisarse que su propia conveniencia les aconseja defender tambien nuestros terrenos.

I si hemos visto que las defensas locales, con que se protejen las obras de arte, pueden ocasionar a menudo mayores perjuicios en los terrenos, las mismas razones nos hacen ver que si la agricultura recurre igualmente por su parte a un sistema de obras aisladas de defensa, pueden ellas llegar a ser funestas a nuestros ferrocarriles.

Resulta, pues, de aquí, no solo la necesidad de marchar de concierto en esos dos jéneros de trabajos, sino una nueva razon que impone el adoptar un criterio mas jeneral en el estudio de los proyectos de defensa.

Por conformarse a esas consideraciones, nos cumple ahora esponer el sistema empleado en la actualidad en Francia, i seguido tambien en otras naciones, principalmente en Suiza, i que ha dado resultados verdaderamente extraordinarios.

III.—SISTEMA DE DEFENSA CONTRA LAS CORRIENTES TORRENCIALES SEGUIDO EN FRANCIA

«He tenido la buena fortuna, dice M. Costa, de ser llamado a dirigir el servicio destinado a operar en los Altos Alpes, precisamente en esta tierra clásica de los torrentes tan elocuentemente descritos por M. Surell.

Lo declaro: esta cuestion me ha apasionado, ha ejercido sobre mí una atraccion irresistible, he hecho ejecutar trabajos considerables, he luchado cuerpo a cuerpo con los mas terribles torrentes de los Alpes i creo haber aprendido a conocerlos. Al mismo tiem-

po que experimentábamos los procedimientos propios para contener estas fuerzas monstruosas i para proteger nuestros valles contra sus ataques, el papel de esos poderosos agentes de la obra de la creacion se revelaba a nuestros ojos en toda su magnitud.» (Costa, ob. cit. p. 4.)

Pues bien, M. Costa, que ha podido disponer de tan vasto campo de experimentacion i cuyo nombre es citado constantemente como una autoridad en trabajos de defensa, espresa mas adelante:

«Segun declaracion de todos los ingenieros que han tenido que luchar contra los torrentes para proteger los valles, los trabajos puramente defensivos han sido reconocidos en la mayor parte de los casos, si no inútiles, a lo ménos absolutamente insuficientes i a menudo peligrosos por cuanto agravan a veces la situacion.

M. Surell, sobre todo, ha puesto esa verdad en plena luz i ha probado de una manera irrefutable que se necesita trasportar a la hoya los trabajos de proteccion para atacar el mal en sus causas. El ha demostrado no ménos victoriosamente que la vegetacion era el medio mas poderoso de estincion de los torrentes, puesto que por la vegetacion se opera a la vez sobre el *caudal* i sobre la *consolidacion del suelo*.» (Costa, p. 112.)

Los ingenieros i profesores que posteriormente han estudiado i discutido esta clase de trabajos ssbre correccion de torrentes, parten del hecho que las bases mismas del sistema de defensa preconizado por M. Surell son unánimemente aceptadas hoi dia, puesto que han pasado ya su período de prueba, quedando fuera de discusion i adoptadas definitivamente por leyes del Estado.

De ahí resulta que tales autores den poco o ningun desarrollo al análisis de tales bases, preocupándose principalmente de esponer con mas detencion el órden, naturaleza i detalles de ejecucion de los trabajos a que el plan de defensa da lugar.

No estando nosotros en la misma situacion, hemos creido indispensable estudiar lo mas completamente posible esta cuestion, tomándola desde sus bases mismas, de modo a poder posesionarse fácilmente de la relacion de causas i efectos que la caracterizan.

Causas del fenómeno torrencial.—Hemos hecho ver ántes que el elemento que mayor influencia tiene en la torrencialidad de una corriente, o sea en las perturbaciones de su régimen, es la cantidad de materiales arrastrados en relacion con el caudal de las aguas. De manera que dejando de lado otros elementos de menor importancia para el objeto de nuestro estudio, podríamos decir que el orígen de la torrencialidad es la desagregacion o socavacion producida en la montaña, la que provee a la corriente de aluviones.

I para que tales erosiones se produzcan en la montaña, se necesita que allí exista un terreno socavable o una fuerza de erosion importante.

Terreno socavable o gran fuerza de erosion, tales serán, pues, en el último análisis, las causas de un torrente.

Supongamos, por un momento, que se logre suprimir esas causas.

Segun las consideraciones que ya hemos dado a conocer, fácilmente es darse cuenta de qué modificaciones experimentará la corriente, modificaciones que son, por otra parte, las mismas que la experiencia ha observado en los numerosos torrentes estinguidos, natural o artificialmente: si se suprime toda socavacion, las aguas bajarán claras i, por lo

tanto, conservando iguales las demás condiciones de caudal i de pendiente, su velocidad será mayor. De aquí que se encajonarán por sí solas en sus propias deyecciones, bajo las mismas pendientes con que ántes no podían socavar; concluyendo así por labrarse un cauce mas marcado, mas fijo, es decir, evitándose las divagaciones.

Influencia de la naturaleza del suelo.—Aun cuando no se necesita insistir para demostrar la influencia que en la formación de los torrentes tiene la naturaleza del suelo es decir, la mayor o menor facilidad que presente a la desagregación, diremos, sin embargo, que esa influencia sobre una de las causas del fenómeno torrencial queda perfectamente manifiesta cuando se comparan las corrientes que bajan de los Alpes con las que descienden de los Pirineos o de los Vosges, i aun en un mismo punto han podido hacerse observaciones en ese sentido.

«En el valle del Romanche, dice M. Surell, donde el terreno se hace primitivo, los torrentes cesan bruscamente. Ahí se encuentra un contraste estremadamente notable: una cascada (la de Fréaux) señala el paso de las calcáreas al gneis. Hacia el lado de los gneis la montaña se levanta a pico a una altura de 500 metros i las aguas se precipitan en cascadas. Hacia el lado de las calcáreas el mismo flanco se inclina segun un perfil accidentado i las aguas lo socavan formando torrentes. Estos, en verdad, no son notables por su enérgia; pero la influencia de la naturaleza del suelo, observada sobre estos dos terrenos de formación diferente que se tocan i están sometidos al mismo clima, no queda ménos demostrada de una manera decisiva.»

Influencia de la vegetación.—Hemos dicho que M. Surell tiene la gloria de haber demostrado de una manera irrefutable que la vegetación era el medio mas poderoso de estinción de los caracteres torrenciales de las corrientes.

Tomándolas en extracto, procurando conservar a veces hasta sus mismas palabras, para no exajerar ni atenuar sus ideas, resumamos las observaciones que el eminente injeniero hacia valer desde 1841.

Los torrentes nuevos se forman o se ven formarse allí donde llega a faltar la vegetación que protejia la descomposición de la montaña.

Mui a menudo, los mismos ojos que han visto desaparecer las selvas sobre los flancos de una montaña, han visto formarse una multitud de torrentes. Como ejemplo, citaba los torrentes que se estaban formando en las montañas de Saint-André, Charvey, Mont-Jenêvre, Dévoluy, Orcière, etc.

No hai talvez una comuna del departamento de los Altos Alpes en donde no se oiga contar a los ancianos que sobre tal montaña, hoi desnuda i devorada por las aguas existian ántes bellas selvas sin ningun torrente.

Insistia particularmente sobre el hecho siguiente: existen en el departamento muchas faldas de montaña cubiertas por terrenos blandos, de trasporte, formados por la descomposición de las partes superiores de la montaña; en esas tierras, ya removidas, la vegetación ha arraigado con fuerza i vigorosas selvas han revestido los flancos de esas montañas, pero poco a poco el hacha las ha ido diezmando, abriendo grandes claros dirijidos en el sentido de la mayor pendiente. por ser la que facilitaba mas la explotación.

Ahora bien, allí se observaba que en cada claro la tierra vegetal ha sido arrastrada por las aguas, formándose al principio un surco poco pronunciado, que va ahondándose

mas i mas, que sube i crece constantemente i que bien pronto constituye un torrente completo.

En las bandas intermedias, donde los árboles habian sido mantenidos, se veia todo lo contrario. Ahí, en el mismo suelo, bajo la misma esposicion, con el mismo talud, a menudo mui rápido, el terreno se ha mantenido firme i no ha sido deformado por las aguas. Aun se podia notar en esa zona hasta los matices de tales contrastes. Las barrancas empezaban allí donde la corta era reciente i los torrentes eran completos, donde el terreno i el testimonio de los habitantes acusaban desmontes mas antiguos.

Por las mismas causas, se ven pacíficos arroyuelos tornarse en torrentes fogosos, que la caída de los bosques ha despertado de su largo sueño, i que vienen a arrojar de nuevo masas de deyecciones en campos cultivados sin desconfianza desde tiempo inmemorial. Es lo que se notó en Francia, principalmente despues de los desmontes escesivos que siguieron a la revolucion, con motivo del derroche en las propiedades confiscadas a los emigrados. Los estragos de los grandes torrentes no datan sino desde esa época, como el torrente de Merdanel, que ha avanzado hácia la aldea de Saint-Crépin, cuyos habitantes han sido casi arruinados.

A los mismos motivos se debe el que un gran número de rios, que eran navegables en otro tiempo, hayan dejado de serlo.

Tales corrientes habian ya llegado a su período de estabilidad i solo debia esperarse que ella se acentuase cada vez mas, pero la destruccion de la vejetacion que la protejia, ha roto ese equilibrio i han recommenzado los depósitos i las divagaciones con los estragos consiguientes.

Las observaciones precedentes manifiestan bien el encadenamiento de causas i efectos que comienza por la destruccion de las selvas i se termina por los estragos de los torrentes i por la ruina del suelo.

El ejemplo que sigue, como dice mui bien M. Surell, resume todas esas observaciones:

El Dévoluy forma un valle prolongado circunscrito por cadenas elevadas. Las montañas son desnudas, devoradas por las barrancas, los ganados i el sol. Todo atestigua que ese pais era ántes boscoso: de sus yacimientos de turba se desentierran troncos de una antigua vejetacion; en la construccion de las viejas habitaciones se encuentran enormes piezas de madera que hoi (1841) no se hallan en ese pais; la tradicion i los nombres mismos de ciertos parajes confirman la existencia anterior de selvas espesas.

La destruccion de la selva por mano del hombre empezó por la ladera para ir subiéndolo a la cumbre, haciéndose completa despues de la revolucion, en forma que hoi no hai madera, el suelo vejetal se ha ido i la movilidad del terreno es tan grande que corre con las menores lluvias.

Así se han formado barrancas que en pocas horas casi han arrasado con algunas aldeas, como la barranca de Trujo, cerca de Saint-Etienne.

Algunos de los torrentes que se han formado son tan recientes que ni siquiera tienen nombre.

El país se ha ido despoblando, la población alejándose de los terrenos amenazados.

Varias comunas, asustadas con el avance de la ruina, pusieron cierta extensión de terrenos «en reserva» (en défends), prohibiendo en ellos la entrada del ganado (cuarteles de Chaumette, de Maniboux, d'Aroux, etc.) Inmediatamente la vegetación, la hierba, los arbustos, reaparecieron con rapidez en esos cuarteles y selvas enteras, como las de Malmont, renacieron sobre el suelo de las antiguas selvas destruidas por la revolución.

En fin, sobre los mismos flancos, los cuarteles puestos en reserva se distinguieron al cabo de solo dos años, de los que continuaban siendo entregados a los ganados (cuartel de Jacié).

Estos últimos están desnudos, llenos de barrancas y los primeros cubiertos de vegetación, en los que el suelo se ha vuelto a afirmar y las barrancas, tapizadas de plantas tupidas, parecen cicatrizadas. En ambos cuarteles, sin embargo, la exposición, la pendiente y el suelo eran los mismos.

Con razón agregaba M. Surell: «¿Qué se puede objetar a tales hechos? ¿No son concluyentes? ¿No dan la llave del sistema que se debe seguir para detener el mal?»

Antes que M. Surell, un prefecto del departamento, M. Maugue, llamaba la atención sobre esos males, y decía: «La historia de Dévoluy será la de los Altos Alpes si la indiferencia del legislador persevera.»

Otro prefecto, M. Dugied, insistiendo en la urgencia de tomar medidas sobre el mal, exclamaba: «Un cuarto de siglo más y tal vez ya sea tarde, porque los mejores terrenos que existen en la montaña serán arrastrados.»

Cuando las mismas observaciones, dice M. Surell, se reproducen tan a menudo y con caracteres tan constantes, no es permitido explicarlos por la casualidad.

Ellas obligan a reconocer que las selvas ejercen una influencia real sobre la producción de los torrentes, sea que existiendo las selvas preserven el suelo contra ellos, sea que destruidas por el hombre les abandonen un campo libre que no tardan en devastar.

Como veremos más adelante, las ideas de M. Surell fueron aceptadas y sus observaciones plenamente confirmadas después. A este respecto, citemos un caso relativamente reciente, parecido al de Dévoluy, que tomamos de la ya citada publicación oficial del Ministerio de Agricultura.

El territorio de Louderville (Altos Pirineos) está comprendido entre 1,300 y 2,000 metros de altitud. La capa de césped que cubría los terrenos se había conservado casi intacta, apenas si, a grandes distancias unos de otros, se presentaban algunos surcos de erosión. Pero «la fundición de las nieves y las lluvias prolongadas del mes de Junio de 1875, que fueron seguidas de desastrosas inundaciones del Garona, acentuaron esas débiles trazas de desagregación y cambiaron rápidamente de aspecto. Los surcos se profundizaron para formar barrancas y la vegetación fué comprometida.»

Existía en esa zona un camino para coches (camino termal de Bagnères-de-Bigorre a Luchon) en el que «antes de 1875 la comunicación no había sido interrumpida sino por las nieves que persisten en esa región varios meses cada año. Después de 1875, cada borrasca arroja sobre la calzada una espesa capa de materiales, etc.»

Mientras la vegetación ha cubierto las pendientes con su espeso tapiz, el efecto

mecánico de las aguas sobre el suelo ha sido insignificante: no arrastraban materiales. Pero llegó un día en que la repetición indefinida de los abusos empobreció el césped, destruyéndolo aun a trechos, i al mismo tiempo se mostraron las primeras señales de desagregación del suelo, las que no remontan a mas de cinco o seis años.

La violenta tempestad de Junio de 1875 ha determinado en algunas horas el ensanchamiento de las estrías abiertas en esos terrenos blandos, formados de detritos del piso de transición. En una longitud de cerca de un kilómetro, esas estrías se han convertido hoy en profundas barrancas rectilíneas, paralelas, separadas las unas de las otras por delgadas bandas de tierra cubiertas todavía con su césped. A cada nuevo asalto de las aguas de nieve o de lluvia, las paredes roídas se descomponen i con sus restos van a llenar el camino.»

A fin de evitar el avance de los estragos i los gastos escesivos que demandarían después los trabajos de defensa i conservación del camino, se justificaba la urgencia de combatir el mal en sus causas i en sus orígenes.

Sin embargo, podría creerse que la vegetación no figura como causa de la extinción del estado de torrencialidad, sino que las selvas serían el efecto de esa extinción; es decir, podría hacerse la objeción de que los torrentes han comenzado por extinguirse i que en seguida ha venido la vegetación a apoderarse del terreno, cuando éste se ha hecho estable, desarrollándose en libertad.

M. Surell ha salido al encuentro de tales objeciones; pero en tal caso —dice refutándolas— la corta de los bosques no habría hecho sino volver las cosas a su estado primitivo i el torrente habría debido continuar estinguido después de la destrucción de la selva, como lo era antes de la aparición de la vegetación; i es precisamente lo contrario lo que sucede: basta destruir las selvas para ver aparecer inmediatamente los estragos; luego, son las selvas las que los han hecho cesar antes, apoderándose del suelo, i la extinción de los torrentes es su obra. La extinción nace, persiste i desaparece con la vegetación.

En resumen, los hechos observados permiten deducir que la acción de las selvas, no solo impide la formación de nuevos torrentes sino que puede destruir los ya formados; i al contrario, la desaparición de los bosques no solo favorece la formación de nuevos torrentes, sino que resucita los que parecían completamente estinguidos.

Como conclusión de las observaciones anteriores, M. Surell emitía en 1841, en su obra que se ha hecho clásica, los principios siguientes, que, como dice M. Thiéry, están fuera de discusión hoy día:

«1.º La presencia de una selva sobre un suelo, impide la formación de un torrente.»

«2.º La destrucción de una selva entrega el suelo presa de los torrentes.»

I respecto de los torrentes ya formados, concluía:

«1.º El desarrollo de las selvas provoca la extinción de los torrentes.»

«2.º La caída de las selvas reavivan los torrentes estinguidos.»

La obra de M. Surell tuvo, como hemos dicho, una repercusion considerable, i aunque muchas de sus deducciones fueran vivamente discutidas, en razon de que venian a herir de frente la rutina, i de que se apoyaban en cierto número de hechos que cada cual se esforzaba en explicar a su manera, los principios de la estincion de los torrentes, con ausilio de la vegetacion, fueron adoptados como base, en 1860, por lei del Imperio.

La esperiencia adquirida desde entónces, ha modificado los procedimientos i perfeccionado el sistema, de modo que el éxito obtenido ha superado con mucho a las mejores esperanzas.

Antes de dar cuenta de observaciones mas precisas acerca de la accion de los bosques i de esponer el órden i naturaleza de los trabajos de estincion, como hoi se practican, creemos útil, a título de antecedentes, concluir de resumir las ideas de M. Surell sobre la influencia de la vegetacion, ideas que, por lo demas, han sido despues confirmadas i a menudo espuestas con sus propias palabras por diversos ingenieros i profesores.

En último término, las causas que hacen peligrosos los torrentes son, como hemos indicado, la desagregacion del suelo i la concentracion violenta de una gran masa de agua. I si las selvas son un poderoso medio de estincion de los torrentes, es porque ellas actúan directa i eficazmente sobre ambas causas.

He aquí cómo explica M. Surell esa accion directa i eficaz de la vegetacion sobre las causas del fenómeno torrencial: «Cuando los árboles se fijan sobre un suelo, sus raices le consolidan apretándolo entre mil fibras; su ramaje lo protejen como una tienda contra el choque violento de los aguaceros; sus troncos, i al mismo tiempo los retoños, las malezas, el césped i esa multitud de vegetales de toda especie que crecen a sus pies, oponen obstáculos accidentados a las corrientes que tenderian a socavarlo. El efecto total es cubrir el suelo, blando por sí mismo, con una envoltura mas sólida i ménos socavable. Ademas, ella divide las corrientes i las dispersa sobre toda la superficie del terreno, lo que impide que se concentren en masa en los hondonadas del thalweg, como sucederia si corrieran libremente sobre un terreno de superficies lisas.

En fin, la vegetacion absorbe una parte de las aguas que se embeben en el humus esponjoso, lo que disminuye la suma de las fuerzas de socavacion.

De aquí se sigue que una selva, cuando se establece sobre una montaña, modifica realmente la superficie que estaba en contacto con las causas atmosféricas i todas las condiciones se modifican entónces, tal como si al primer terreno se hubiese sustituido otro totalmente diferente. Por esto, no hai motivo de admirarse de ver el mismo suelo sucesivamente infestado o libre de torrentes, segun que esté despojado o cubierto de selvas, que el ver los torrentes cesar en las rocas primitivas o surgir bruscamente en las calcáreas blandas.»

En otros términos, las selvas hacen ménos socavable el terreno, absorben i retienen parte de las aguas, impidiendo la concentracion instantánea, prolongando asi la duracion del escurrimiento i haciendo que las crecidas sean ménos repentinas i ménos desastrosas.

Como dice el eminente ingeniero, así se comprende que invadiendo las selvas las hoyas de recepcion, sofocaran ciertos torrentes, puesto que aumentaban todas las resistencias i disminuian todas las potencias, doble efecto para apresurar la estabilidad.

A medida que la torrencialidad se debilita por la accion de las selvas, va abando-

nando un terreno cada vez mas estable i favorable a la vejetacion, de modo que ésta toma mayor desarrollo, es decir, aumenta sus fuerzas, al mismo tiempo que el torrente va perdiendo las suyas.

«Así la naturaleza, colocaba el remedio al lado de mal; combatia las fuerzas activas de las aguas por otras fuerzas activas tomadas del reino de la vida; a la invasion de los torrentes oponia las conquistas progresivas de la vejetacion; sobre esos flancos movibles estendia una capa sólida que los protejia contra los ataques exteriores, casi como un revestimiento de piedra protege los diques de tierra.

«Es tambien digno de observacion que la poca consistencia de algunas calcáreas i de los detritos removidos, que se oponen a la consolidacion de las tierras i atraen los torrentes, sea precisamente una circunstancia propicia al desarrollo de la vejetacion. La misma causa que multiplicaba los torrentes, debia pues multiplicar tambien las robustas selvas i hacer suceder a la larga la fecundidad a la ruina i la estabilidad al desórden.

«...Es de esa suerte como la naturaleza a todas sus fuerzas impone moderadores que las compensan i que les impiden obrar constantemente en el mismo sentido, lo que concluiria por reducir todo al reposo.» (SURELL.)

I luego, en su anhelo de hacerse oír, continuaba:

«Comparemos estos efectos de la vejetacion con los que ejercen los diferentes sistemas de defensa imaginados. El resultado de las defensas, como el de la vejetacion, es el de oponerse a los estragos de los torrentes; pero cuán débiles parecen todos nuestros diques al lado de esos grandes medios de que dispone la naturaleza, cuando cesando el hombre de contrariarla persigue su obra pacientemente al traves de los siglos! Todas nuestras mezquinas obras no son sino «defensas», como lo indica su mismo nombre. Ellas no disminuyen la accion destructora de las aguas; le impiden solamente estenderse mas allá de ciertos límites. Son masas pasivas opuestas a fuerzas activas; obstáculos inertes i que se destruyen opuestos a potencias vivas que atacan siempre i que no se destruyen jamas.

«...No hago aquí un reproche estéril. Quiero dejar entrever que para combatir los torrentes se puede proceder mejor que amontonando con grandes gastos albañilería i terraplenes que serán siempre, hágase lo que se haga, solo dispendiosos paliativos, mas apropiados para disimular la llaga que para estirparla.

¿Por qué, pues, el hombre no pediria un socorro a esas fuerzas vivas, cuya enerjía i eficacia le son tan claramente reveladas?»

Hai todavía otro aspecto interesante en la accion de las selvas que hasta ahora no hemos precisado bien: es la influencia sobre el caudal.

Despues de M. Surell, otro autor, M. Cézanne, ingeniero eminente tambien, ha estudiado minuciosamente el problema de las defensas, con tanto mayor interes cuanto que, como hijo del departamento de los Altos Alpes, tan azotado por los torrentes, conocia bien los estragos i la ruina sufrida por esa rejion, i habia podido palpar la eficacia del sistema de M. Surell, a pesar de los pocos años que llevaba de ensayo, a tal punto que cifraba en su aplicacion en mayor escala todo el porvenir de su departamento.

Todavía iba mas allá la conviccion de M. Cézanne, puesto que despues que los desastres de la guerra pusieron a prueba la vitalidad de la nacion, hacia un patriótico

llamado a buscar en la adopcion mas jeneral del sistema de defensa la rejeneracion económica del pais, de cuya Asamblea Nacional era uno de sus miembros prestigiosos.

De la obra tan completa como concienzuda de M. Cézanne, que discute i analiza un número inmenso de observaciones de toda clase i de diferentes autores, vamos a resumir algunas de sus consideraciones sustanciales sobre el punto que nos ocupa.

Respecto al caudal de un rio, los elementos que mas intervienen, si esceptuamos la nieve, son:

La cantidad de agua de lluvia que recibe la hoya;

La que pierde por evaporacion; i

La infiltracion.

Lluvia.—Son contradictorias las opiniones acerca de la accion de los bosques sobre las lluvias.

Tan pronto se ha creido observar que la desaparicion de las selvas disminuye las lluvias, como, al contrario, se ha atribuido a esa desaparicion la recrudescencia de los aguaceros.

De las numerosas esperiencias i observaciones analizadas por M. Cézanne, resultaria que, en realidad, las selvas no tienen una accion apreciable sobre la cantidad de lluvias.

En cambio, como lo veremos, las selvas intervienen eficazmente en la conservacion del agua caída i en la proteccion de la humedad del suelo.

Las causas i leyes mismas de las lluvias, en las que los vientos son uno de los factores mas importantes, tienen un carácter mas jeneral, difficilmente modificables por meros accidentes locales, como los bosques, a no ser que se trate de condiciones mui escepcionales i de masas enormes de vejetacion.

Evaporacion.—La evaporacion ejerce sobre el régimen de la corriente una accion preponderante.

En Paris se ha encontrado:

Evaporacion.....	698 mm.
Lluvia.....	496 »

Es decir, que aun no siendo escasa la lluvia es aun superior la cantidad de agua evaporada, a pesar de que las observaciones han sido hechas a la sombra i sobre un agua tranquila.

Mas desfavorable será todavía en este sentido la situacion de las rejiones que, como las del norte de Chile, a una fuerte evaporacion no corresponden lluvias abundantes.

Escusado de todo punto parece insistir en la influencia que tales condiciones ejercen sobre el régimen de los rios.

Es un hecho constantemente observado que las selvas conservan la humedad de la atmósfera i del suelo: pasada una lluvia, las tierras descubiertas i los caminos se secan, en tanto que bajo la selva continúan corriendo pequeños arroyuelos i las ramas i follajes retienen todavía gran cantidad de agua.

En cambio, la selva impide que toda la lluvia caiga en el suelo, es decir que éste debido a la accion de los árboles, recibirá menor cantidad de agua.

Podria agregarse que las raices absorben el agua i que las ramas aumentan la eva-

poracion; pero esta cantidad suele ser poco importante porque tambien es utilizada la humedad atmosférica.

Combinando estos diversos factores, las experiencias de M. Mathieu, sub-director de la Escuela Forestal, prueban que, para una misma altura de lluvia, el suelo protegido por la selva retiene notablemente mas agua que el terreno descubierto, lo que está de acuerdo con lo observado constantemente que «en condiciones iguales, la humedad es siempre mayor al abrigo de la sombra de las selvas que en el llano desnudo.»

I no solo se dificulta la evaporacion por la sombra, sino tambien por el obstáculo que las selvas presentan a los vientos.

Así, pues, en verano, en los fuertes calores, cuando el agua tiene mas precio, la influencia de las selvas es altamente benéfica, puesto que tiende a aumentar notablemente el caudal de los rios.

En invierno esta accion es mucho ménos importante, sobre todo si la selva pierde sus hojas, puesto que en esa estacion la evaporacion en jeneral, aun en terreno desnudo, es poco enérgica.

Conclusion: por su accion sobre la evaporacion, las selvas tienden eficazmente a regularizar el caudal.

Infiltracion.—Veamos la accion de los bosques sobre la infiltracion.

Se han observado fuentes que se han secado cuando han sido destruidas algunas selvas i que han reaparecido junto con éstas.

En cambio no existen observaciones en sentido contrario.

La *Revue des eaux et forêts* abrió una verdadera investigacion acerca de la influencia de las selvas sobre las fuentes, i de las numerosas comunicaciones i observaciones que le fueron trasmitidas, concluia que «las observaciones mas precisas, los hechos mas concluyentes, tienden a probar que lo mas a menudo, i particularmente en las montañas, las selvas, sobre todo las de árboles resinosos, conservan i regularizan las fuentes.»

Esta accion se esplicaria:

- a) Porque las selvas moderan la evaporacion.
- b) Porque retardan en la primavera la fundicion de las nieves i el agua se infiltra en vez de correr hacia el thalweg.
- c) Porque las raices forman una especie de drenaje que permite a veces al agua de infiltracion penetrar hasta las capas impermeables.

La influencia de las selvas sobre las fuentes tiende, pues, a regularizar tambien el caudal, aumentándolo principalmente en verano.

Es interesante, quizá, precisar un poco mas la influencia sobre la infiltracion.

«Si se practica un corte vertical en un terreno arcilloso impermeable, se ve frecuentemente esto: la capa superficial de tierra vegetal es negra i las aguas de infiltracion, arrastrando estas tierras por entre las estrechas grietas del subsuelo, dibujan líneas oscuras ramificadas como las raices. Es que en efecto, cuando se mira de cerca, se ve que esas líneas siguen las raices de los vegetales i descenden tanto mas cuanto mas fuerte es el vegetal.» (Cézanne, páj. 115).

Lo mismo se observa en los terrenos permeables.

Ese es el procedimiento cómo las raices favorecen la infiltracion i contribuyen al

mismo tiempo a mejorar las capas inferiores del terreno, apropiándolo cada vez mas a la vegetacion.

En resumen, «en la mayor parte de los casos, i salvo circunstancias especiales, la accion de las selvas sobre la evaporacion i la infiltracion aumenta el producto de la lluvia, es decir, la parte de la napa pluvial que aprovechan los rios. Esa doble accion tiende sobre todo a producirse en verano.» (Cézanne, páj. 149).

I en nota, encontramos la siguiente cita: «La Australia, como el Africa Austral, presenta vastas mesetas (plateaux), cuyo réjimen pluvial es mui irregular i que la evaporacion deseca. De ahí corrientes de agua raras e irregulares.

La desgracia de la Australia es la falta de agua, que es lo que quiere remediar el doctor Muller, del Jardin Botánico.

Ha repartido en el interior millones de arbustos, nacidos en sus criaderos de árboles, i pequeños arroyuelos se han formado rápidamente bajo esos bosques todavía mui nuevos. Los resultados son soberbios ya i perfectamente comprobados.

En tierras desnudas él ha creado así, en mas de cien puntos, bosques i corrientes de agua.» (Conde de Beauvoir, Viaje al rededor del Mundo).

Con las rápidas observaciones anteriores, creemos que queda suficientemente explicada la accion de las selvas.

No sólo ellas pueden ser de un alto valor como medio de conservar i regularizar el caudal (i el ejemplo de Australia es mui decidior en tal sentido), sino que son de una gran eficacia para combatir las causas de la torrencialidad, de tal modo que M. Cézanne ha podido decir: «La correccion de los torrentes, su estincion, no puede ser obtenida sino por las plantaciones o el encespedaje de la hoya: esta proposicion ya no es negada por nadie.» páj. 252).

Preocupándonos nuevamente de ésta última accion de las selvas, digamos que cuando las ideas de M. Surell comenzaron a ser aplicadas, diversas comisiones de ingenieros extranjeros fueron encargadas de venir a estudiarlas, comprobando los buenos resultados.

En Suiza, despues de las grandes lluvias i estragos de 1856, el Consejo Federal nombró una comision de ingenieros, de la cual formaba parte como miembro eminente el profesor Culmann, i al mismo tiempo designaba otra comision forestal, ambas con el encargo de estudiar los torrentes de la Confederacion i proponer las medidas que deberian tomarse.

Las dos comisiones estuvieron de acuerdo en la accion eficaz de las selvas i M. Culmann, en su Rapport ya citado, llegando a las mismas conclusiones poco favorables que hemos espuesto sobre las defensas locales, espresa que el principal remedio, el sólo decisivo i definitivo, son las plantaciones que sofocan el mal en su orijen.

Los cantones que han respetado sus selvas—agrega—son los ménos atacados i los que las han destruido, particularmente los cantones italianos, están amenazados, como los Altos Alpes franceses, de una ruina completa.

Felizmente se emprendieron con actividad los trabajos recomendados i esa ruina, en uno i otro pais, fué evitada.

Conclusiones.—Espuestas ya las observaciones que ponen de manifiesto la accion de los bosques en la estincion de la torrencialidad, i ántes de sentar las conclusiones que de ellas se desprenden, agreguemos una palabra para indicar cómo M. Cézanne hace resaltar, tan claramente, la influencia de la vejetacion menor.

El observa que cualquiera que sea la pendiente de las laderas, la napa pluvial no toma una velocidad sensible, que pueda ser peligrosa, sino cuando el agua comienza a reunirse en los surcos, las barrancas, etc.

Mientras no suceda esa concentracion, el agua no corre, mas bien se arrastra

La velocidad de las gotas aisladas, por mas frecuentes que sean, i aun cuando se trate de fuertes pendientes i de superficies lisas, es relativamente débil, como se observa en los vidrios verticales espuestos a la lluvia.

«Las aguas que caen en nuestros campos no forman sino mui pocos arroyuelos; pero las que caen sobre el techo de las casas i que son recojidas en las canales forman al instante pequeños rios.» (Carta del emperador Napoleon III, Julio de 1856, citada por Cézanne).

Para que haya corriente es necesario que exista un receptáculo inclinado o thalweg,

De aquí nace el plan de estincion i la eficaz accion de las plantaciones, accion que no es directa sino que impidiendo el abarrancamiento del suelo retarda el escurrimiento por pequeños arroyuelos e impide la concentracion violenta en masas i el arrastramiento de materiales.

De todo lo cual resulta mas manifiesta la deficiencia de las defensas locales, las que como se ha dicho, entre otros inconvenientes tienen el de no impedir la agravacion del estado de torrencialidad ni la formacion de nuevos torrentes.

Los diques, las canalizaciones, etc., son, como lo dice M. Cézanne, «operaciones que no pueden ser emprendidas con éxito sino cuando se han fijado las partes superiores de la hoya i detenido en su punto de partida los aluviones que van a depositarse sobre las partes bajas.»

Se concluye, pues, lójicamente con M. Surell que, para no emprender obras que debieran ser recomenzadas todos los dias, debe recurrirse a la vejetacion, e igualmente se concluye:

«Que el campo de las defensas debe ser llevado a la hoya de recepcion», i que ellas deben perseguir:

1.º Prevenir la formacion de nuevos torrentes.

2.º Detener los estragos de los ya formados, no con un sistema de defensas sino de estincion i preservacion, imitando a la naturaleza i oponiendo hábilmente las fuerzas de la vida orgánica a las de la materia bruta.»

(Continuará)

