

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS

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

DIRECTOR

D. MANUEL MALUQUER Y SALVADOR

COLABORADORES

LOS INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

SE PUBLICA LOS JUEVES

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

EL PANTANO DE GUADALCACÍN Y LAS OBRAS HIDRÁULICAS

Conferencia dada en el Instituto de Ingenieros Civiles

por

D. PEDRO M. GONZÁLEZ QUIJANO

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Dentro de lo artificial de la división administrativa española, es la provincia de Cádiz una de las más naturalmente limitadas desde el punto de vista geográfico é hidrológico. Por el Norte, y salvo pequeñas desviaciones, se halla separada de la de Sevilla por la divisoria del Guadalquivir, y este mismo no le sirve de límite con Huelva. Del lado de Málaga sirve de Norte á Sur de divisoria la de aguas entre los ríos Guadalete y Guadiaro próximamente hasta la confrontación de Cortes de la Frontera, acercándose ya desde aquí al último de los ríos mencionados, del que queda siempre muy poco distante en la mayor parte de su curso inferior. El resto del contorno está formado por el mar.

Los puntos culminantes del relieve gaditano se encuentran hacia el Nordeste de la provincia y están constituidos por las últimas importantes estribaciones de la Serranía de Ronda. Las mayores elevaciones corresponden al gran macizo jurásico de las inmediaciones de Grazalema, donde el terreno sube hasta 1.750 metros sobre el nivel del mar. El eje principal de este macizo corre en dirección aproximada de NO. á SE., encorvándose en semicírculo hacia uno y otro extremo, quedando limitada de este modo la parte alta de la cuenca del Majaceite ó Guadalcacín. Del lado convexo de esta gran curva las aguas corren hacia el Guadalete y el Guadiaro, ríos que siguen á partir de su origen las direcciones aproximadas del Norte y del Sur.

El Guadalete cambia, sin embargo, pronto su dirección primitiva volviendo hacia el Oeste y SO.: su divisoria con el Majaceite se deprime rápidamente, y al fin ambos ríos se reunen en término de Arcos de la Frontera, conservándose el nombre del primero que va á verter sus aguas en el mar en el Puerto de Santa María.

También baja con rapidez la divisoria del Majaceite y del Guadiaro, pero para ascender de nuevo hacia el Pico del Ajilibe, que vuelve á alcanzar la altitud de 1.120 metros. Desde este pico las aguas vierten no solo á los dos ríos mencionados, sino también á diversas corrientes que vienen á converger hacia la gran

depresión de la Janda y encuentran su salida al mar por el río Barbate, antiguo Guadi Becca, en cuyas orillas localiza la erudición moderna, la histórica batalla que erróneamente tomó el nombre del Guadalete.

Del Pico del Aljibe al mar las cuencas del Majaceite primero y del Guadalete después, vienen ya limitadas por una línea que, con más ó menos inflexiones, sigue, aproximadamente, la dirección general de Este á Oeste.

Vemos, pues, que desde el punto de vista de la hidrografía, la provincia puede considerarse dividida en dos grandes porciones casi iguales: la primera un poco mayor, al Norte, comprendiendo la cuenca total del Guadalete y las pequeñas vertientes situadas entre la desembocadura del Guadalquivir y la bahía de Cádiz; la segunda, al Sur, fraccionada en una porción de corrientes secundarias con desagüe independiente al mar. En cuanto á las altitudes, la línea trazada de Arcos á Tarifa dejaría hacia Poniente la mayoría de los terrenos cuya altura sobre el nivel del mar es inferior á 100 metros. Sólo quedarían fuera de aquella zona los terrenos bajos que rodean á la bahía de Algeciras.

La zona Norte es la más importante para nuestro objeto y en especial los términos municipales de Arcos y Jerez, donde se encuentran enclavados el lugar de las obras y los terrenos que se habrán de regar. Suman entre ambos términos 1.935 kilómetros cuadrados, algo más que toda la provincia de Guipúzcoa. De esta superficie, 141.000 hectáreas, ó sea cerca de las tres cuartas partes, corresponden al término de Jerez, uno de los más extensos de España. Linda este término al Norte con la provincia de Sevilla, y la mayor parte de él (unas 90.000 hectáreas) queda comprendida entre los de Arcos, Sanlúcar, Los Puertos y Medina, pero á este núcleo principal se añade una larga faja de unos 14 kilómetros de anchura que corresponde á la ladera izquierda del Majaceite y llega hasta la provincia de Málaga, en término de Cortes de la Frontera.

Casi toda esta faja está constituida por terrenos de monte alto y bajo, predominando en los primeros el acebuche y el alcornoque y en los segundos la carrasca y el lentisco, siendo el alcornoque, sobre todo, la principal riqueza de esta zona. El gran núcleo de terrenos destinados al cultivo cereal que se extiende por poco más de la mitad del término, encuéntrase dentro de la otra gran zona que rodea á la ciudad y principalmente en la parte Norte, donde se hallan las más feraces tierras del renombrado Rincón.

Más inmediatas aún á la población, se encuentran las zonas de viñas que dan especial celebridad á la campiña jerezana y que

se extendían sobre una superficie de 8.500 hectáreas, próximamente, la cual no toda ha sido todavía repuesta después de la invasión filoxérica. Con no constituir más que el 6 por 100 de todo su extenso término, este viñedo ha sido la riqueza más importante de Jerez, no sólo por su valor intrínseco, sino, además, por la manera como se encontraba repartida y por servir de base á un próspero negocio, fuente no menos abundante de pingües ganancias.

En el esplendor del negocio esas viñas han llegado á valer por hectárea 10.000 y 15.000 pesetas, mientras que el resto del término apenas si podría tasarse en conjunto á 500 pesetas por igual unidad superficial. Su alto precio permitía además una gran subdivisión de la propiedad, y por eso allí donde las fincas de labor, y con mayor razón las dehesas, exceden por lo general de 50 hectáreas, son numerosísimas las viñas que no llegan á dos. Por idéntico motivo los jornales eran altos y no se escatimaban porque eran ampliamente compensados con el precio del producto, y cuando éste pasaba del cosechero al almacenista, y del almacenista al extractor y del extractor á los mercados exteriores, iba dejando señalado su paso con una estela de oro.

Pero de aquella prosperidad va quedando ya tan sólo el recuerdo. Los grandes precios de los mostos que tocaron su máximo en 1863, año en que llegó á venderse la bota á 234 pesos, ó sean 175 pesetas el hectolitro, decrecieron rápidamente: á los diez años, habían quedado reducidos á un tercio de su anterior valor; en 1890 llegaban apenas los mejores á 25 pesetas por hectolitro. Hacia esta fecha, esta rápida decadencia amenazaba trocarse en total ruina con la invasión filoxérica que en pocos años destruyó todo el viñedo.

Gracias á los grandes almacenados que aun se conservaban en espera de mejoras de precio que no acababan de llegar, la exportación de las clases selectas pudo mantenerse; pero entonces fué el momento de apreciar cuán espantosa era la decadencia del negocio y cuán profundo el cambio de costumbres y gustos de los antiguos consumidores: aun amenazados de inmediata desaparición, los vinos no aumentaron á penas de precio y los de los mostos ofrecían escasísimo aliciente para una reposición más costosa y en aquellos primeros momentos mucho más aleatoria que la antigua.

Jerez se percató de la gravedad de la crisis que atravesaba y pensó en la necesidad de crear nuevas fuentes de riqueza. Sin descuidar aquella reposición moderada que hubiera de alimentar en lo sucesivo su decaído negocio, creyó que podría encontrar lo que buscaba con el establecimiento del regadío. La idea no era nueva ni improvisada: ya se indicaba la conveniencia de los riegos en las exposiciones é informes elevados al Gobierno durante el siglo XVIII con motivo de las informaciones y expedientes á que dió lugar aquel despertar económico de la Nación durante los reinados de Fernando VI y de Carlos III y que aun duraba en tiempos de Carlos IV; así se ve expresado el mismo pensamiento en 1784 en una Memoria del Corregidor Retana, y en 1798 en la contestación dada por el amigo del país D. Francisco de Virnés Segovia á un interrogatorio del Príncipe de la Paz, y cuando en 1861 se pensó en dotar de aguas potables á Jerez, la primera idea, según indica en su Memoria el eminente Ingeniero D. Angel Mayo que dió cima al proyecto, fué asociar el abastecimiento de la población con la conducción de aguas para riegos.

No era fácil satisfacer cumplidamente las condiciones exigidas por tan distintos servicios, y la necesidad del segundo no era entonces tan intensamente sentida. A pesar de sus grandes intereses agrícolas, Jerez era ante todo y sobre todo una población comercial, y con la mira puesta en el desarrollo de su comercio eran las vías de comunicación principalmente las que

hasta entonces habían merecido la preferencia, tanto desde el punto de vista de los proyectos como desde el de la ejecución. Por eso habían sido varios los intentos desde el siglo XVII para mejorar la navegación del Guadalete, concibiendo el magno proyecto de unirlo con el Guadalquivir para permitir la llegada de los buques á Sevilla, esquivando la barra, proyecto que fué objeto de reconocimientos é informes favorables del célebre Juanelo Turriano, y cuando al alborear el siglo XIX se inició en Inglaterra la construcción de los ferrocarriles, la primera concesión obtenida en España y probablemente en el Continente fué la de D. Marcelino Calero y Portocarrero para una línea de Jerez al Puerto de Santa María, Rota y Sanlúcar, que fué concedida en 28 de Marzo de 1830, es decir, el mismo año en que se abrió al servicio público la de Liverpool á Manchester.

No llegó de momento á realizarse el proyecto, pero algo más tarde fué el ferrocarril de Jerez al Trocadero el tercero de los construídos en España, y en época más próxima se construyó también, con sólo los recursos locales, la línea de Jerez á Sanlúcar y Bonanza.

Todo ese entusiasmo por las obras públicas, revelado en esas empresas no siempre lucrativas para los accionistas, pero de positivo beneficio para la población y para la comarca, vino por las circunstancias mencionadas á concentrarse en la implantación del regadío, y para conseguir este resultado el Pantano se ha construído y se construyen actualmente los canales.

Seguir paso á paso la gestión del asunto hasta verlo llegar á vías de práctica realización nos apartaría del objeto principal de esta conferencia, que es daros á conocer la obra, pero creía indispensable exponer estos antecedentes para que resultara explicado por qué y para qué se construye.

Trátase, como hemos visto, de regar; pero, ¿es que el riego constituirá, en efecto, mejora tan importante como para justificar las esperanzas que en ella se cifran y los sacrificios que necesariamente ha de imponer? De fijarse sólo en la cifra total de la lluvia del año, que alcanza, y aun excede, los 700 milímetros, tentado se estaría á decidirse resueltamente por la negativa, pues no llegan á tanto muchas comarcas que son, sin embargo, consideradas como suficientemente húmedas; pero se perdería de vista al pensar así la enorme irregularidad de esas precipitaciones que pueden oscilar alrededor de esa media entre mínimos de 286 y máximos de 1.262, y se olvidaría, sobre todo, la desigual repartición del total en el transcurso del año, hasta el punto de no caer en los tres meses de verano ni gota de agua, mientras las precipitaciones son abundantes y en ocasiones excesivas en otoño, invierno y primavera, con lo que ambos extremos pueden darse con intervalos de pocos meses. Y como la completa sequía coincide con la máxima temperatura, resulta punto menos que imposible el cultivo de verano, como no se trate de plantas arbóreas ó arbustivas, tales como el olivo ó la vid.

Esta sequía estival que hace inútil para la agricultura el beneficio de la latitud, es agravada en aquella zona por la frecuencia y la intensidad de los Levantes, que todo lo agostan y que hasta exigen para la vid prácticas culturales acomodadas á las exigencias del clima.

Las causas de este orden de cosas son, indudablemente, de orden geográfico. La meseta española, de levantarse aislada en medio de los mares, daría lugar á un régimen de vientos de carácter monzónico: dominarían en verano los vientos marítimos, los terrales en invierno, y entre una y otra dirección oscilarían en el resto del año, según que se marcara más ó menos en cada momento la influencia de la masa continental. Tendríamos así lo contrario, precisamente, de lo que suele ocurrir: un invierno

seco, un verano húmedo y lluvias más ó menos escasas é irregulares en las estaciones intermedias.

Pero el macizo español no está aislado, sino que sufre la influencia de la circulación general, determinada por la repartición en el globo de tierras y mares, y en el verano, aunque la meseta caldeada ejerce una llamada de aire marino, las corrientes atmosféricas dominantes tienden á girar en torbellino inmenso en torno á la enorme y profunda depresión que se estaciona sobre las grandes moles del Continente asiático, y que viene á tener su centro sobre el Afganistán.

El tiro ejercido por nuestra meseta no se hace, pues, sentir sino á muy corta distancia de nuestras costas y el aire no tiene tiempo apenas para cargarse de humedad. Debería ascender luego á gran altura para enfriarse lo suficiente para provocar la lluvia; pero nuestro pequeño sistema ciclónico, si es limitado en superficie no lo es menos en altura, y en la mayoría de los casos antes que los vapores puedan condensarse son arrastrados lejos de nuestra tierra por la corriente general; por eso en verano no llueve.

En el resto del año no conservamos mejor nuestra independencia meteorológica. Nuestras lluvias son entonces el resultado del paso, á veces bien lejano, de nuestras costas de los centros de baja presión formados de ordinario en medio del Atlántico y que llegan á Europa siguiendo trayectorias más ó menos caprichosas aunque de dirección general conocida. Por eso nuestras lluvias, en esa estación, preceden ó siguen á las grandes bajas del barómetro según cual sea la marcha de cada depresión con relación al punto donde se realizan las observaciones.

Conocido el mecanismo general, fácil es hacer aplicación á la provincia de Cádiz. Su situación meridional hace que aquí sea todavía más riguroso el régimen de verano, y en el invierno, cuando las perturbaciones atmosféricas hacen soplar los vientos del SO. de larga carrera marítima, las elevadas cimas que se yerguen á corta distancia de la costa, y en sentido perpendicular al viento, obligan á éste á precipitar abundantemente su humedad hasta el punto de que la misma corriente atmosférica, que al penetrar por el amplio valle del Guadalquivir, sólo produce precipitaciones próximas á 500 milímetros, como en Sevilla ó Córdoba, origina en la provincia de Cádiz esos 700 de que antes os hablaba y que son la precipitación normal de San Fernando en las inmediaciones de la costa, altura pluviométrica que todavía viene aumentada en el interior, especialmente en las sierras donde con frecuencia excede de un metro.

Y en cuanto al asolador Levante, sólo favorable para la cosecha de las salinas, no parece ser otra cosa sino el resultado del tiro ejercido por la meseta, que se compone con el que determinan por el Sur los desiertos africanos dando como resultante una corriente aproximada al Este, que pierde toda la humedad que pudiera prestarle el Mediterráneo al depositarla en abundantes rocíos en las montañas de Málaga, para descender luego por la vertiente opuesta cada vez más seco y abrasador, mecanismo en todo análogo al de otros conocidos vientos, como el *foen* de Suiza, el siroco de Sicilia y el *mistral* de la Provenza.

Conocidas las causas casi holgaría decir que esas condiciones meteorológicas han existido siempre, en la época histórica por lo menos; pero nunca falta quien descontento del presente pugne por resucitar, bajo remozadas formas, la antigua leyenda de la edad de oro y localice en un pasado más ó menos remoto las bienandanzas que en la actualidad echa de menos. Así, por ejemplo, en los últimos treinta años las observaciones pluviométricas del Observatorio de San Fernando acusaban una disminución constante en los decenios sucesivos de la altura media de lluvia. Se ha creído ver en ello el efecto de una causa constante, pero

aparte de que el año actual no parece permitir la hipótesis de una desecación progresiva, el mínimo de 286 milímetros que antes os citara no es tampoco ninguna cifra reciente, sino que corresponde al año de 1806, y el decenio de 1817 á 1826 arrojó una media de 524 milímetros, bastante inferior á las actuales.

Las observaciones de San Fernando, no todas completas, sólo alcanzan á 1805, pero anterior á esa fecha aun queda en la región el recuerdo de algunas extremadas sequías como la del año 1793, llamado de la esterilidad, en que no llovió casi nada, en que los ganados morían por falta de hierba y el pan llegó á venderse á cuatro reales la hogaza (poco menos que el kilo) y el trigo á 120 reales la fanega. De sequías anteriores dan testimonio los libros capitulares del Ayuntamiento de Jerez, por los acuerdos que han originado de repartimientos de socorros ó de asistencia á públicas rogativas, y allí aparecen registradas catorce sequías en el siglo XVII, empezando por la de 1602, contra ocho en el siglo siguiente, la última la extraordinaria que acabo de citar. Allí se mencionan también las lluvias excesivas que han llegado á alcanzar el carácter de calamidad pública, contándose dos en el siglo XVII y ocho en el XVIII, una de ellas precisamente el año anterior al de la esterilidad, lo que corrobora una vez más la irregularidad excesiva del clima.

Y en tiempos más remotos las descripciones de los antiguos geógrafos y geopónicos y las narraciones de los historiadores tampoco permiten sospechar variación sensible del clima, pues hasta ese mismo Levante, que alguien ha querido considerar como el resultado de la escasa población forestal de nuestras sierras, parodiando la leyenda del mistral que se ha pretendido originado por el descuaje de los Cevennes, es citado por Columela con el nombre de *vulturinus*, de donde viene el castellano bochorno, á la manera como el mistral mismo; á pesar de su pretendido humano origen, es perfectamente reconocible en el *melambóreas* de Estrabón y en el *circius* de Plinio.

Tales consejos encontrarán, sin embargo, todavía creyentes. El desconocimiento bastante general de las leyes de la Meteorología, explicable por lo moderno de la ciencia y lo complejo de sus fenómenos, hace aparecer éstos para muchos como sometidos á un azar inextricable; pero no faltan tampoco esos enamorados del misterio que gustan siempre de comprobar raras é insospechadas coincidencias que vengan á poner de relieve la existencia de pequeñas causas productoras de grandes efectos.

Siempre que pienso en estos asuntos, me viene á la memoria lo que en cierta ocasión oí á una persona cultísima, por mí muy respetada y querida, que me contaba como de experiencia propia, que había disminuído la nieve en Grazalema desde la apertura del canal de Suez. La coincidencia era extraña, pero la explicación era no menos peregrina; las aguas del mar Rojo, al entrar en el Mediterráneo, habían elevado la temperatura de éste y el efecto se había hecho sentir más allá de las columnas de Hércules, á unos 4.000 kilómetros del punto de partida.

Ahondando un poco en el caso pude comprobar que la experiencia personal de mi interlocutor se reducía á que allá en sus mocedades llegaban á Cádiz, tras penosa marcha de más de 25 leguas, muchas de ellas por caminos casi impracticables, grandes recuas que conducían desde los pozos de la nieve, que aun se conservan sin empleo en la sierra, la que servía en la capital para preparar toda clase de helados y bebidas refrescantes. La fabricación del hielo artificial había, naturalmente, concluído con la peligrosa industria de transporte, y esto era todo.

Todo tal vez no. Quizás hubiera influído también para asociar las fechas y localizar el recuerdo, la trascendencia de la gran obra de Lesseps, las discusiones previas á que había dado origen y en las que había salido á relucir la diferencia de nivel entre los

dos mares, todo ese confuso ambiente que se forma alrededor de los grandes hechos que llegan á cautivar á la opinión y que dan sobre ellos una impresión de conjunto tan difícil de analizar y tan á menudo fecunda en estériles entusiasmos como en trascendentes errores. ¿Cómo extrañarse de que obra tan colosal y que tan profunda revolución había causado en todas las relaciones humanas, que hasta había sido motivo para que Verdi aumentara sus lauros con *Aida* (mi amigo era un inteligente aficionado) no tuviera también su repercusión en Grazalema como en las mesas de los cafés y en las pastelerías de Cádiz?

La extrañeza que el caso me produjo se ha templado con los años, al conocer muchas otras análogas aproximaciones y explicaciones semejantes. ¿No ha llegado á sostenerse y la afirmación rueda aún por autorizados libros de la culta Francia, que los descuajes de las selvas americanas han sido la causa en nuestro Continente de una mayor intensidad y frecuencia de las lluvias diluvianas?

Conveniente será, sin embargo, desterrar esos errores, que pueden ser obstáculo á orientaciones provechosas, si, como acabamos de ver, la considerable elevación de nuestras mesetas, que nos constituye en el país de Europa de mayor altitud media después de Suiza, es, sin embargo, impotente para marcar su predominante huella en la meteorología peninsular. ¿Qué podrá esperarse de modificaciones en los cultivos que, por importantes que sean, no podrían extenderse sino á una superficie bien pequeña del territorio nacional?

Lo que del canal de Suez para las nieves de Grazalema ó de los descuajes americanos para el clima de los departamentos franceses.

Volviendo al estudio particular de nuestro caso, si la irregularidad de la lluvia no puede ser mayor, ella misma indica cuál es el remedio adecuado. No es el agua lo que falta, es que viene á destiempo; la solución no puede ser otra sino el almacenamiento de las aguas invernales para aprovecharlas cuando la temperatura y la luz puedan llevar á su máximo la producción agrícola.

No cabe, sin embargo, almacenar el agua en el mismo sitio donde cae; tan divididas reservas serían pronto pasto de la evaporación; habrá que ir á buscarla en los cauces naturales, y antes de llegar á éstos las pérdidas son abundantes, ya por vuelta directa á la atmósfera ó por filtración en el suelo. El río no recibe más que una parte, y la relación entre el agua desaguada y la caída de las nubes constituye, como todos sabéis, lo que se llama coeficiente de aprovechamiento de la corriente.

Hasta que, gracias á un organizado servicios de aforos, no se ha ido conociendo el régimen de nuestros ríos, y este servicio, todavía reciente y perfeccionado cada día, no puede aún suministrar sino datos aislados, el Ingeniero que hace quince años había de proyectar una obra de la naturalera de la que nos ocupa, apenas si tenía otra guía para apreciar los recursos en agua con que podía contar que las vagas informaciones locales, alguna que otra avenida que un feliz azar le hiciera presenciar y la aplicación más ó menos razonada de algún coeficiente de aprovechamiento deducido de casos juzgados parecidos y estudiados por lo general en un libro extranjero.

Se comprende cuántos motivos de error podría haber en un cálculo semejante, zanjado cómodamente en algunos libros adoptando la fracción $\frac{1}{3}$, que dividía con la mayor equidad posible el agua caída entre la evaporación, la filtración y el desagüe, porque si esa cifra podrá quizás pasar como término medio, los valores particulares oscilan entre límites considerablemente apartados, no sólo de una cuenca á otra, sino aun dentro de una mis-

ma cuenca, con la distinta manera de distribuirse la lluvia de uno á otro año.

Ante tales incertidumbres y cuando no sean posibles estudios más detenidos (el proyecto hubo que hacerlo en perentorio plazo de pocos meses) la prudencia aconseja ser modesto en los cálculos, aunque es igualmente preciso que la modestia no se convierta tampoco en mezquindad, corriendo en cada caso el riesgo razonable y sometiendo el meditado leal saber y entender al Dios sobre todo en que se amparaba siempre con bien distinto motivo la escasa lealtad y en algún caso el excesivo entendimiento de los antiguos almanaqueiros.

En nuestro caso, con 700 milímetros de lluvia que podrían elevarse á 800 en las sierras, una cuenca de 600 kilómetros cuadrados que los mapas de la comarca permitían asignar á las vertientes superiores á la obra y un coeficiente de aprovechamiento de $\frac{1}{3}$ no faltaba fundamento para aspirar á un embalse medio de 160 millones de metros cúbicos. No han pasado menos muchos años por el río desde 1906, época en que comenzaron las obras, y el presente año meteorológico dará ya seguramente un volumen total próximamente doble al representado por aquella cifra. En el año de 1906 á 1907 no pasaron, sin embargo, sino 82 millones. Verdad es que ese año sólo cayeron en San Fernando 396 milímetros contra 463 en la Granja agrícola de Jerez y 480 en Tempul, estación pluviométrica de la Sociedad de abastecimiento de aguas de la población que se encuentra ya dentro de la cuenca del Pantano, con la particularidad de que los años anteriores habían sido también relativamente secos. En ese año, el coeficiente de aprovechamiento no ha llegado más que al 28 por 100, mientras que en el actual es posible que llegue y aun que pase del 50.

El embalse proyectado de 76 millones de metros cúbicos se hubiera, pues, obtenido todos los años, si no es acaso en alguno como el de 1806 que marca el mínimo registrado en San Fernando, y el de 92 millones que permitiría el umbral del aliviadero con sólo recrecerlo 2 metros, recrecimiento previsto y en armonía con el cual se ha construido la presa, será también posible alcanzarlo en la inmensa mayoría de los años, quedando todavía sobrantes que pudieran ser aprovechados en el porvenir en años favorables.

En cuanto á la superficie regable, dado el relieve del terreno, quedan por debajo del nivel disponible más de 12.000 hectáreas, dejando limitada la zona por las concesiones inferiores que habrá que respetar, y de ellas se calcula que unas 10.000 podrán ser de riego efectivo, siendo 8.300 las adheridas al Sindicato que auxilia las obras. Esta superficie se divide en tres zonas principales: las que corresponden á las dos márgenes del río y la constituida por los extensos llanos de Caúlina que se ven á la izquierda del ferrocarril cuando nos aproximamos á Jerez caminando hacia Cádiz, en los cuales llanos podrán regarse más de 4.000 hectáreas admirablemente situadas para dar fácil salida á los productos.

Hay agua y hay tierra: el problema, como se ve, admitía una solución; pero para que ésta fuera práctica era preciso encontrar lugar apropiado para la obra de embalse. Sobre este particular apenas si había duda. Tratándose de regar terrenos inmediatos á Jerez era natural buscar el emplazamiento más próximo para reducir la longitud de los canales motivo de coste y ocasión de pérdidas. Era preciso encontrar además una cerrada relativa que permitiera construir la presa sin excesivo gasto, y aguas arriba de ella un vaso natural de capacidad suficiente. En los ríos principales los más próximos emplazamientos que reunían estas condiciones eran la angostura de Bornos sobre el

Guadalete y la angostura de Arcos en el Majaceite, ambos señalados ya por D. Angel Mayo en sus estudios para el abastecimiento de Jerez. Su distancia á la población es próximamente la misma: unos 40 kilómetros, un poco más corta la de la angostura de Arcos, aunque la configuración del terreno obliga casi á igual recorrido de canales.

Un pantano lateral no podía tampoco resolver el problema en buenas condiciones. Se tendría un vaso regular á unos 10 kilómetros de Jerez en la laguna de Medina, cuyo desagüe por el Bóquete del Amarguillo podría cortarse con una obra de fábrica poco costosa, pero la alimentación del pantano exigiría entonces una obra de conducción importante y larga, porque el fondo de la laguna se encuentra un poco por encima del lecho del río, y para salvar esta diferencia aumentada en la altura de la presa, que había de ser por lo menos de 20 metros para que el embalse tuviera importancia, hubiera sido preciso situar en el río la obra de derivación próximamente á la altura de la angostura. Huyendo de canales largos se hubiera ido á recaer en el mismo escollo que se trataba de evitar, y aun todavía agravado porque dadas las irregularidades del régimen de lluvias que se traducen, como es natural, en el caudal del río, las aguas de alimentación habrían de proceder principalmente de las avenidas, y como éstas duran naturalmente poco, el canal debería tener una potencia de conducción exagerada que sólo sería utilizable en muy contadas ocasiones, y esto sin pretender la utilización total del agua del río, empeño que hubiera excedido de lo prácticamente realizable.

Con el pantano en la angostura de Arcos, este pantano lateral de la laguna de Medina podrá utilizarse en su día para recoger, durante el invierno, las aguas del canal de la margen izquierda que en esta época tendría que hacer poco servicio de riego.

Limitada la comparación á los emplazamientos del Guadalete y del Majaceite, la duda parecía desde luego deber ser resuelta á favor del segundo. Las dos cerradas eran próximamente iguales aunque algo más estrecha la del Majaceite, pero la principal ventaja á favor de éste estaba en el vaso, mucho más amplio, y que permitía, por consiguiente, mayor embalse á igual altura de presa. Además, la angostura de Bornos se encuentra muy próxima á la población de este nombre, y el vaso está formado en buena parte por ricas huertas de expropiación costosa, sin contar con la oposición que hubiera podido hacer el pueblo ante el temor, tal vez infundado, de un mayor desarrollo del paludismo. Había también ciertas dudas respecto á la impermeabilidad de este último emplazamiento, dudas quizás exageradas, pero que no había por qué comprobar, porque los motivos anteriores eran suficientes para decidir la elección, siempre que en la angostura de Arcos esa y las demás condiciones quedaran satisfechas dentro de los límites prácticos.

Está constituida esta angostura por un gran macizo calizo próximamente perpendicular á la dirección general del río, el cual se abre á través de ella un estrecho paso de unos 400 metros de longitud, y cuya anchura en su entrada y en la parte inferior era de unos 15 metros. Aguas arriba de este macizo las grandes masas calizas desaparecen, y el río serpentea en amplias vegas limitadas de ordinario por laderas margosas y yesosas. El vaso presentaba una impermeabilidad suficiente hasta donde era posible apreciar este extremo en una extensión considerable y con sólo el examen de la superficie y las inducciones que permitían la forma ó inclinación de los lechos en los cortes naturales del terreno.

En cuanto á la caliza, que era precisamente la que debía servir de cimientó á la presa, la impresión no podía ser tan decidida; los estratos se encontraban considerablemente dislocados á

lo largo de la angostura, afectando todas las inclinaciones aunque con un buzamiento general que acusaba la existencia de un anticlinal en el interior del vaso. Esta circunstancia y el hecho de desaparecer bruscamente la roca casi en la misma entrada de la cerrada, hacían temer dificultades en la cimentación y aun la existencia de grietas ó cavernas que pudieran ser causa de pérdidas importantes de agua y aun de accidentes que pusieran en peligro la estabilidad de la obra.

Para alejar estos temores se efectuaron sondeos con sonda rotatoria y obteniendo testigos que permitieran un conocimiento suficiente de la naturaleza y condiciones del terreno de cimentación, sondeos que con los del pantano de Talave fueron los primeros que se hicieron en España de esta clase para el estudio de obras como la que nos ocupa. El resultado fué satisfactorio: hasta 25 metros de profundidad que alcanzaron las exploraciones efectuadas en el lecho del río en el mismo lugar del cimientó la misma roca presentóse constantemente y el agua de las bombas continuó saliendo sin intermitencia, prueba suficiente de que no se atravesaban grietas importantes.

Quizás haya quien eche de menos en esta rápida descripción la indicación de la edad geológica de los terrenos. Con gusto satisfaría al curioso si no hubiera en este punto algunas dudas que no llegaron á ser resueltas por el notable geólogo D. José Mac-Pherson en su detenido estudio de la provincia. La Comisión del Mapa ha precisado las clasificaciones de aquel ilustre hombre de ciencia, pero todavía mi amigo el distinguido Ingeniero de minas Sr. Garala, que actualmente estudia aquella comarca, ha encontrado no pocos detalles que rectificar. No era preciso, por otra parte, para nuestro objeto una completa precisión en este punto, para el cual lo importante es la situación y el estado de los bancos, porque aunque la cosa sea de suyo evidente, quizás no sea del todo inútil recordar cuando se habla, por ejemplo, de los grandes peligros de las calizas cavernosas del cretáceo que las tales, si pueden dar lugar á algunos disgustos, será siempre más que por ser cretáceas, por ser cavernosas.

Si en nuestro caso no es posible asignar fechas siquiera sean tan vagas é indeterminadas como las que suponen los períodos geológicos, la inclinación de los estratos y la disposición de los lugares permitirían quizás trazar los grandes rasgos de lo que podría llamarse la historia de su topografía. Los plegamientos del terreno resultado de causas internas, alcanzando á la gran masa caliza, determinaron la formación de un anticlinal hacia el sitio donde hoy se encuentra el vaso del Pantano; pero la cima levantada, quebrantada profundamente por las flexiones y presiones laterales á que dió lugar el colosal movimiento, quedó considerablemente cuarteada y en gran parte convertida en masa informe de materiales detriticos. Lentamente, en miríadas de siglos quizás, las erosiones y la acción fluvial fueron arrastrando los despojos de la enorme ruina hasta dejar al descubierto las formaciones inferiores y hasta alcanzar por su contorno los bancos más fuertes y menos trabajados que habían servido de estribo á la derrumbada bóveda. De este modo la primitiva cumbre quedó convertida en honda depresión, ocupada quizás por espacioso lago que encontró su desagüe por el más bajo umbral rocoso. Resistiendo éste á la socavación, pero no los terrenos primitivamente superiores y que habrían quedado después del trastorno á continuación hacia aguas abajo, fueron estos últimos los atacados y al fin quedó la roca en saliente, determinando espumante cascada que concentró en su mismo pie el trabajo de erosión.

Como consecuencia, y siguiendo la ley general de todas las cascadas, atacada por su pie, fué constantemente retrocediendo hacia aguas arriba, con lo cual iba al mismo tiempo ganando en altura hasta romper el último bloque de roca y dejar el lago

completamente vacío. En su fondo divagó ya el río en lo sucesivo, modelando las actuales vegas hasta asegurarse en ellas un lecho constante como ya antes la cien veces secular cascada había grabado sobre la roca el surco de la actual angostura.

A través de tiempos tan remotos y dilatados, imagínese quien pueda los juveniles caprichos de una naturaleza exuberante que entonces se desarrollaba libre de humanas miradas; los cambios de paisajes esplendentes ó sombríos, los frondosos é intrincados bosques habitados por faunas extrañas, la serenidad de las aguas sólo turbada por los aleteos de las aves marismeñas ó en el silencio interrumpido por el raro croar de anfibios ignorados, espantosas tormentas y copiosos aguaceros no conocidos hoy y alternando con ellos, á intervalos enormes, períodos de aridez, repercusión de lejanas alteraciones geográficas que venían á atestiguar la solidaridad de un mundo que no se había cuidado todavía de producir la inteligencia que había de comprenderle.

Cuando la presa de hoy embalsa las aguas del Majaceite, reconstituye en escala modesta aquel lago que fué la belleza del no contemplado paisaje; en su coronación podría leerse, tal vez, en caracteres fugaces: Aquí fué la obra de la Naturaleza.

Si os place la novela, y ejercitando vuestra fantasía os ha hecho reposar un momento, antes de seguir estos áridos informes permitidme que, en nombre de la técnica, reclame de nuevo vuestra atención para hablaros de la presa.

Lo primero que había que fijar era su altura sobre el lecho del río. De ella dependería el volumen que podría almacenarse. Era el propósito regar 10.000 hectáreas: ¿cuánta agua haría falta para ello? Pregunta es esta á la que no es fácil dar contestación exacta: dependerá de los cultivos que se establezcan, de la preparación de la zona, de las prácticas locales, de una porción de circunstancias difíciles de precisar *a priori* y sobre todo cuando, como en este caso, el riego se habrá de establecer por entero. En la mayoría de las ocasiones, y aunque otra cosa se sostenga en ciertas propagandas tendenciosas, es más bien el problema inverso el que habrá que plantear y el que deberá resolverse por quien corresponda. Dada una dotación determinada de agua, ¿cuál es el mejor partido que se puede sacar de ella?

Con datos á la vista sobre el consumo de agua de las huertas locales, teniendo en cuenta la época del año en que por falta de lluvias el pantano no podría reponer sus pérdidas y considerando también que la extensión del riego no es ni puede ser obra de un día, pareció prudente poder embalsar con destino íntegro al riego 5.000 metros cúbicos por hectárea sin perjuicio de dar á las obras elasticidad suficiente para permitir mayores dotaciones en lo futuro.

Pero para conseguir aquella dotación íntegra era necesario tener en cuenta también las distintas causas de pérdida y en especial las debidas á la evaporación y á las filtraciones. Nuevos motivos de incertidumbres y de dudas. No tenemos, respecto á la evaporación, sino los datos suministrados por los Observatorios y obtenidos por la medida de las pérdidas experimentadas en vasos abiertos ordinariamente pequeños. ¿Pueden aplicarse á las grandes masas de agua? Seguramente no. La evaporación supone consumo de calor: un depósito pequeño puede reponer sus calorías con relativa facilidad, una gran masa de agua no está en el mismo caso; la evaporación en el pantano deberá ser, por consiguiente, menor, ¿pero cuánto? Algún que otro experimento extranjero hecho en limitada escala ó en distintas condiciones de clima, no podía servirnos. Es un punto sobre el que conviene llamar la atención de la ciencia nacional. Pero había que tomar partido y lo prudente era decidirse por la parte más segura. Se aceptaron las evaporaciones registradas en el Observatorio de la Granja experimental, se escogieron las máximas y se calcularon

de este modo las pérdidas de evaporación totales durante la temporada de riegos en 8 millones de metros cúbicos. Es probable que no lleguen á tanto.

En cuanto á las filtraciones, no parece que fueran de temer en el vaso en proporción importante, pero aunque no filtración, propiamente dicha, podía haber absorción de agua por el terreno perdida por evaporación durante el vaciado, con lo que al recuperar el suelo su capacidad habría nuevo motivo de pérdida para el año siguiente. Se reservaron para este objeto 3 millones de metros cúbicos, lo que, teniendo en cuenta la superficie del vaso, que es, próximamente, de 780 hectáreas, equivaldría á una lámina de cerca de 0,40 metros.

En los canales las filtraciones podrían ser más importantes, sobre todo en los primeros años. Teniendo en cuenta las observaciones efectuadas en algunos canales nuevos se apreció con algún exceso esta causa de pérdida en 9.450.000 metros cúbicos, y con todo esto y una amplia reserva para limpias en el pantano de 6 millones de metros cúbicos, se llegó á la cifra total de 76.450.000. El río los daba y el vaso los permitía para una altura de presa de 26 metros sobre el cauce del río. Aun se elevó á 30 esta altura como reserva para el porvenir y para dar lugar en las avenidas á la lámina vertiente del aliviadero de superficie. Antes de llegar el agua á la coronación de la presa el volumen total embalsado debería llegar á 111.650.000 metros cúbicos.

Por debajo del cauce el cimiento de la presa ha debido bajar en el sitio más profundo á unos 14 metros. La altura total es, pues, de 44.

Había que determinar la forma en planta y el perfil. El problema de determinar las dimensiones de una presa de embalse resistiendo por su propio peso, de tan sencilla teoría en apariencia, encierra, sin embargo, complicaciones no todas puestas en luz todavía, y la historia de la evolución de las ideas en este punto es altamente instructiva. No se sabe qué reglas siguieran los directores de nuestras antiguas presas para planear sus proyectos: quizás fueron sólo guiados por su instinto de buenos constructores para adoptar con pocas excepciones grandes espesores y planta por lo general circular.

Pero con el tiempo la construcción se hizo más científica, se quiso estudiar, y con razón, qué motivos justificaban las prácticas tradicionales. No hay otro medio de abandonar la rutina y de entrar en la senda de los razonables progresos. En esta revisión de valores tocó el turno á nuestras presas, y el juicio que merecieron á los primeros Ingenieros franceses que con todo el instrumental de los más sabios cálculos abordaron el asunto, fué bien poco favorable. Nuestras obras carecían de elegancia y de valentía: eran bárbaras y pesadas; la masa era derrochada inútilmente y pésimamente distribuida desde el punto de vista de la estabilidad de la construcción. Porque el problema no podía ser más sencillo: una fuerza vertical que era el peso del macizo; otra fuerza horizontal, el empuje del agua, y, en suma, una resultante que vendría á cortar en determinado punto á la junta correspondiente. Bastaba aplicar en seguida la ley de repartición de las presiones, y si éstas no excedían de determinado límite, que se escogía reducido como garantía de seguridad contra las imprevisiones del cálculo, el problema quedaba resuelto. La estricta economía venía á determinarlo por completo, y gracias á ella nació el perfil de igual resistencia, airoso y esbelto y ostentando en su frente el soplo del genio.

En cuanto á la forma curva era un empeño injustificado de aumentar la longitud de la presa, una prueba más de grosería y de ignorancia científica. Cada metro de presa se bastaba á sí mismo, y lo que había que hacer era ir por lo más corto de la dera á ladera.

Pero, ¡ay!, que la Naturaleza no siempre gusta de verse aprisionada en fórmulas y aquellos espirituales perfiles llevaron en la práctica á no pocos ruidosos fracasos, entre ellos los de varias presas argelinas que ocasionaron allá el descrédito de los pantanos y dieron ocasión, entre nosotros, con los consiguientes años de intervalo, para que se hablara del *impetu vigoroso de las avenidas que arrollan cuanto encuentran á su paso*, ignorando quizás por pérdida momentánea de la memoria, porque las palabras brotaban de la elegante pluma de un técnico, que los esfuerzos á que se encuentra sometida una presa de embalse son, en todos los casos, preponderantemente estáticos.

Cayóse entonces en la cuenta de que el problema no era tan sencillo como se suponía. Se había creído asegurar la resistencia á la compresión; pero como los pesos totales eran pequeños, en la parte superior de la obra bastaban para resistirlos superficies extremadamente estrechas. Es verdad que la ley de repartición plana acusaba tensiones en el resto de la sección, pero si las mamposterías no podían resistirlas ello no tendría otro efecto, así se lo había supuesto, que producir leve superficie de separación: con la zona comprimida había bastante para asegurar la estabilidad de la obra. Lo que se vió luego fué que esa leve superficie de separación podía ser el origen de una grieta horizontal donde penetrara el agua y por donde se transmitiera toda la presión de aguas arriba, introduciendo así una nueva fuerza con la que no se había contado y que era, precisamente, opuesta al peso estabilizador.

Como consecuencia se proscribieron las tensiones; pero esto no parecía bastante, se veían grietas y subpresiones por todas partes y aun llegaron á emitirse opiniones autorizadas que declaraban sin apelación posible la imposibilidad de asegurar la resistencia de una presa contra tanta causa de ruina siempre en acecho; pero á pesar de tan fatídicas sentencias, las presas españolas á través de los siglos continuaban en pie.

La cuestión se puso sobre el tapete con ocasión de la catástrofe de Bouzey, ocurrida en Francia en 1896, y entonces Mauricio Levy dió su teoría, que contribuyó á divulgar entre nosotros un notable trabajo de mi querido compañero el Sr. Nicolau. En la solución propuesta no eran ya las presiones las que preocupaban; era en ellas, por el contrario, en las que se buscaba la solidaridad entre todas las partes de la obra, y para que ésta no pudiera ser rota por grietas ni subpresiones, se prescribió que en el paramento de aguas arriba la compresión elástica y la presión del agua habrían de equilibrarse por lo menos. Era ahogar con la masa cualquier principio de debilidad: al cabo una brutalidad obligada aunque mejor vestida y soberbiamente alhajada con ecuaciones diferenciales.

Aunque de este modo las dimensiones fueron considerablemente reforzadas no se llegó, sin embargo, á la masa de nuestras antiguas presas, ó, por mejor decir, de algunas de ellas, porque tampoco faltan entre nosotros ejemplos de lo contrario y algunos he mencionado en una nota que tuve el honor de presentar hace dos años al Congreso de las Ciencias de Madrid. Para juzgar de la diferencia hay que tener en cuenta, sin embargo, los progresos últimamente realizados en la fabricación y empleo de los aglutinantes hidráulicos, porque si nuestros antepasados que esperan todavía la pluma cariñosa que haya de poner de relieve sus bien ganados éxitos hubieran contado con tales medios, es posible que hubieran llegado también á los perfiles actuales sin tan prolijos cálculos ni tantas retóricas.

Pero al llegar aquí me importa también hacer una aclaración. Podría parecer quizás que mis palabras revelaban un santo horror á símbolos y teorías y que venía á predicar entre vosotros el basta de Matemáticas que con singular gracejo ha sostenido

desde este mismo sitio un ilustrado compañero, aunque llegando quizás en la expresión por reacción natural contra la exageración contraria, algo más lejos de lo que le hubiera dictado en la soledad de su gabinete su bien ponderado entendimiento.

No; yo no puedo desconocer el valor práctico de todos los estudios ni proclamar la supremacía del empirismo rutinario; pero creo al mismo tiempo, que no es posible fiar tan sólo la resolución de todos los problemas á cifras y á ecuaciones cuando se camina por derroteros que no han sido todavía suficientemente explorados por la comprobación experimental. Es por eso por lo que el arte y la ciencia del Ingeniero no pueden ser reducidas á las fórmulas precisas de un seco y árido recetario, sino que todo debe ser sometido en cada caso al buen sentido y al recto juicio del técnico convenientemente formado por una sólida educación científica.

Y aun así, no siempre será posible precaverse en absoluto de errores inseparables de toda obra humana, aunque otra cosa crea el vulgo, que se siente dispuesto á proclamar la infalibilidad de nuestros cálculos, á los que presta su exactitud la única exacta entre todas las ciencias, juicio benévolo y hasta cierto punto halagador, pero que no deja de tener sus peligros, pues mientras al Médico se perdonan los enfermos que mata y al Abogado los pleitos que pierde y hasta al político las naciones que ponen al borde de la ruina, la opinión suele ser inexorable con nuestros fracasos, que se llevan siempre á la cuenta de las temeridades punibles ó de las ignorancias inexcusables.

Esta injusticia que con nosotros se comete, no debemos, rencorosos, hacerla extensiva á las Matemáticas. No es su uso, sino su abuso el que puede dañar en algún caso; su conocimiento es el que, seguramente, no dañará nunca. Por eso en vez de ese basta de Matemáticas, yo pediría un retorno á las Matemáticas; pero.... á las Matemáticas, y marco la diferencia, porque yo no puedo considerar como tales la repetición minuciosa y ordenada de las más abstrusas teorías acompañada en cada caso de cuantas ecuaciones y razonamientos exija la más rigurosa demostración. Todo eso será necesario para que la verdad resplandezca, sin duda que la empañe, pero en definitiva no se hará de ese modo sino una apropiación más ó menos efectiva de trabajos ajenos, cuyos resultados hubiera quizás bastado asimilar sin tanto estruendo á la manera como en Física es posible estudiar las leyes de la materia sin necesidad de repetir, con todo detalle, los experimentos innumerables que han servido para establecerlas.

Para algún rígido Catedrático quizás suenen á profanación mis palabras; pero, ¿es que no bastaría para adquirir el profundo sentido del rigorismo matemático guiar en él los primeros pasos del estudiante aligerando después la marcha para llegar pronto á la cima de los conocimientos adquiridos desde donde pudiera contemplar el amplio panorama y desde donde pudiera luego escoger camino de su gusto por el que hubiera de dirigirse hacia la ciencia verdaderamente viva, que es la única que puede ser verdaderamente fecunda?

No siempre, por desgracia, han dominado en la enseñanza estas orientaciones. Aun recuerdo un caso observado en mis tiempos de estudiante, cuando tenía menos años de los que he vivido después, y que me impresionó lo suficiente para que no se haya borrado aún de mi memoria. Explicaba la lección un compañero. Con gran primor había trasladado al encerado, línea tras línea, detallada figura de complicado mecanismo que revelaba no escasos ensayos en hora de fatiga, al lado de no bien oliente lámpara que la electricidad no había desterrado todavía. Sin embargo, entre tantas líneas, alguna había quedado olvidada, y allí faltaba algo: el mecanismo no marchaba. Para poner-

lo en marcha, el muchacho recurría á cuanto le sugería su ingenio, pero el Profesor le salía siempre al paso. Nada de aquéllo era y todo tenía sus inconvenientes. Al fin, entre paternal y uraño, atajó el cuarto ó quinto intento, de solución original, con estas palabras: No invente usted; el inventar es muy difícil; un simple ventilador puede costar años de fatiga.

Con el recuerdo de las palabras no me ha quedado el del compañero. No sé hasta qué punto habré aprovechado el consejo, pero en más de una ocasión me lo figuro acariciando máxima tan cómoda, salir fusil en mano para cazar en proyectos y manuales el dibujo bien concluido y acotado que le saque del apuro en que le pone el último problema que le ha salido al encuentro en su carrera profesional.

Volviendo á las Matemáticas, y en consonancia con estas ideas, ya comprenderéis que no pueden ser mi ideal ni programas cerrados que contengan sólo aquellas materias de más frecuente y práctica aplicación, ni el estudio minucioso y completo que sería, sobre imposible, inútil de cuantas teorías ha ido atesorando la ciencia en su desarrollo integral, sino aquella ponderación de enseñanza que sin descuidar la adquisición desembarazada y firme de todos aquellos conocimientos de más constante empleo, la complete con una rápida y precisa visión de conjunto que pueda servir de punto de partida sólido y seguro para las investigaciones futuras.

Demasiada digresión parecerá ya ésta, pero no la creo del todo incongruente porque es precisamente el problema de la resistencia de las presas el que me ha llevado á ella. Escuchadme y juzgad. Tanto en las primeras teorías de los Ingenieros franceses, como en la más prudente y completa de Levy, como en las que pudieran fundarse en la más correcta aplicación de la teoría de la elasticidad, se parte siempre de un postulado fundamental: la presa es homogénea. Suprimid el postulado y la ley de repartición de presiones no tiene sentido. Ahora bien, ¿se realiza la hipótesis? En modo alguno. Con ella el problema real es de hecho sustituido por un problema ideal, único que cabe en unos moldes matemáticos preconcebidos.

La heterogeneidad de la presa salta á la vista. Compuesta de mampuestos de diferentes formas y dimensiones, á veces hasta procedentes de distintas canteras, sirve de enlace al conjunto un mortero cuyas constantes físicas son en gran parte distintas de las de la piedra. La piedra misma, por fina y compacta que sea en apariencia, revelará al microscopio ó una tupida y confusa red de cristalizaciones ó granos informes ligados por algún adherente cemento. En el mortero los elementos componentes son aún visibles, y aun dentro de ellos ¡qué mundo de diferenciaciones no supone cada grano de arena ó del polvo impalpable del cemento! Y más allá de la visión ultramicroscópica ¡qué enormidad de heterogeneidades ignoradas! ¿No acepta la ciencia una materia discontinua compuesta de átomos que las ideas modernas tienden todavía á considerar como construcciones complejissimas capaces de transformarse y aun de disolverse en el éter con producción de energías insospechadas que parecen entreabrir las puertas del eterno misterio y arrojar á los dominios del saber una nueva cosecha de inesperadas verdades?

Nos contentamos con que todas esas heterogeneidades no se sumen, con que se mezclen de tal manera que desaparezcan de nuestra vista en el conjunto, y como el no ver puede conseguirse de dos modos, si no desaparecen, cerramos los ojos; pero entonces para aquietar nuestra conciencia, un poco escandalizada por esta ignorancia voluntaria, decimos que todas esas heterogeneidades se compensarán entre sí porque á ello les obliga la ley de los grandes números. Y no ahondamos más porque no sabríamos ya qué responder si nos preguntáramos cuáles eran los grandes

y cuáles los pequeños, y hasta qué punto podía considerarse fundada nuestra confianza en que habrían de ser despreciables las anomalías que pudieran presentarse en el exacto cumplimiento de las leyes de la probabilidad.

Si de la materia pasamos á las fuerzas, las complicaciones no desaparecen por eso. Los pesos y los empujes son conocidos con bastante aproximación, nunca con exactitud completa; por-que más ó menos el agua siempre penetra en el macizo y suma su peso al peso de los elementos sólidos é introduce entre ellos presiones y tensiones. Pero además la presa no se levanta en un momento, no es el producto de un *fiat*. Los morteros, primero plásticos, han acabado por fraguar y por endurecerse después. El agua no combinada se ha evaporado en gran parte; con ello el volumen de las fábricas disminuye, cantidades infinitesimales ciertamente, pero del orden de las deformaciones producidas por las fuerzas exteriores. Deben así, pues, nacer en el interior del macizo, reacciones comparables con aquéllas y que con ellas deben combinarse. Ocurre lo mismo en los cambios de temperatura, y en uno y otro caso las leyes de distribución de esos esfuerzos son enormemente complejas y aun distintas, para la misma obra, de un momento á otro, influyendo las variaciones del ambiente, la orientación de la presa, herida diferentemente por el sol en las horas del día y en los días del año, el nivel cambiante del embalse y quién sabe cuántas causas más que pasan inadvertidas á nuestra observación y á nuestro conocimiento. Y no sólo entran en juego esas fuerzas que hubieran de producirse ó propagarse con relativa lentitud. Oscilaciones de distinta amplitud y dirección cruzan con frecuencia la corteza terrestre; los sismógrafos de los Observatorios apenas si descansan. El reposo no existe en parte alguna y sin embargo consideramos el problema de la resistencia, y casi no podemos hacer otra cosa, como un problema de equilibrio, ó, cuando más, como un ligero movimiento entre un estado inicial y un estado final.

Cuando materia y fuerza se combinan, la repartición de las acciones y reacciones deberá obedecer á bien complejas leyes. ¿Dónde ni cómo encontrar en la realidad esas líneas de fuerza representadas por funciones analíticas ó con precisa definición geométrica, con su tangente en cada punto, perfectamente determinada? ¿No habrán de parecerse mejor á esos otros trazados, imposibles á nuestra mano, invisibles á nuestros ojos, pero que las modernas matemáticas nos revelan en la extraña, pero fecunda teoría de las funciones continuas sin derivada? Pues ved lo que son las contradicciones del humano entendimiento. Aquí habéis oído, y no os habrá extrañado, y aun habréis prestado el asentimiento á que nos incluyan inveterados hábitos de pensar, que por qué el Ingeniero ha de perder su tiempo en estudiar esas funciones sin realidad posible, engendro de lógicos puros sin contacto con el mundo experimental, místicos de nueva especie, con la mirada fija en visiones ultraterrenas, habitantes de un universo de ensueño. No; las que había que estudiar, como hombres prácticos, eran las otras, las que una tradición clásica había impuesto desde siglos en las escuelas, y que por derecho de posesión habían dado la norma al cálculo infinitesimal.

No he de sostener yo, ciertamente, la inutilidad de las matemáticas clásicas. Por mucho tiempo han de servir todavía de poderoso instrumento de investigación y de sistematización científica, pero cuando sin el debido contrapeso nos entregamos de lleno á la concepción tradicional de la continuidad, no es difícil caer en errores, á los que presta apariencia de verdad inconcusa la misma forma matemática del razonamiento.

Permitidme un ejemplo bien elemental. Imaginad el paramento de aguas abajo de una presa. Se puede demostrar, sin apelar al parecer á ninguna hipótesis, que la fuerza en sus inme-

diciaciones será paralela á dicho paramento. En efecto, consideremos dos planos que se corten á una distancia infinitamente pequeña de él. Tendremos así formado en el perfil un triángulo infinitesimal. Sobre uno de los lados, el exterior, no actúa fuerza ninguna; las acciones ejercidas sobre los otros dos lados deben ser, pues, iguales y de sentido contrario; pero por ser los lados infinitesimales la presión sobre cada uno de ellos puede considerarse como constante, y las resultantes respectivas deberán pasar por el centro de gravedad, que habrá de corresponder al punto medio. La línea de acción de la fuerza unirá los dos puntos medios y será paralela al lado descargado.

Hasta aquí no hay ni sombra de contradicción; pero suponed por un momento que el paramento descargado presenta un ángulo. El conflicto se presenta en seguida: ¿cuál de las dos direcciones es la de la fuerza en aquel punto? Las dos, podría quizás contestarse: es un punto de paso entre dos regiones distintas; hasta llegar á él la dirección es una; al pasar viene el cambio brusco. Si el ángulo existe en el paramento, ¿por qué extrañarlo en la fuerza? Pero ved entonces lo que ocurre. Si como anteriormente trazamos dos planos que se corten á distancia infinitamente pequeña del vértice del ángulo, tendremos ahora, no ya un triángulo, sino un cuadrilátero con dos lados libres de cargas, pero sometido en los otros dos á fuerzas que no se equilibran: será imposible que se mantenga en su posición, se separará necesariamente del resto de la masa, aunque ésta fuera del más resistente acero, aunque saltando por cima de todas las limitaciones de la realidad le atribuyéramos una rigidez infinita, porque de la cohesión no podríamos esperar ya nada; había sido englobada con todas las demás fuerzas actuantes sobre los lados interiores al perfil. Un cuerpo angular sería, pues, total y absolutamente contradictorio. Si por un raro azar existiera alguno libre de la impresión de toda fuerza, sus ángulos deberían redondearse al menor roce.

Y, sin embargo, la experiencia diaria nos convence de lo contrario. Las formas cristalinas nos proporcionan la prueba. Ellas denuncian el argumento por engañoso y falaz. Pero, ¿cómo salir del atolladero? Pues muy sencillamente. No podemos negar la existencia ni la dirección centrífuga de esa malhadada resultante; pero de su intensidad no hemos dicho nada. Si es nula toda la dificultad se desvanece. Y esto es lo que necesariamente tiene que ocurrir dentro de las hipótesis supuestas. Las líneas de fuerza que se desarrollaban paralelamente al paramento deben doblarse de un modo continuo en las inmediaciones del punto anguloso, dejando en las proximidades de él una pequeña zona

de trabajo nulo. Y ¡singular coincidencia! Es precisamente en este punto donde la ley de repartición plana daría la máxima compresión para todas las secciones que pasan por él. Una simple irregularidad en un perfil idealmente homogéneo ha bastado para convertir ese máximo en cero. ¿Qué cosas no pasarán en el intrincado laberinto de los macizos reales?

No quisiera con estas consideraciones alarmaros demasiado. Cuéntase que en una sesión memorable de la Academia de Ciencias de París el poderoso genio de Cauchy había puesto de relieve con tal fuerza de lógica el gran peligro que existía para la validez del razonamiento el empleo de las series divergentes que Laplace, preocupadísimo, había marchado inmediatamente á su estudio y no había descansado hasta cerciorarse de la convergencia de las series sobre las que había fundado la estabilidad del sistema del mundo. Más que exacta verosímil, la anécdota demuestra el alto interés científico que el ilustre autor de la *Mecánica Celeste* concedía, con razón, al magno problema que trataba de resolver; pero para su vida diaria y la de los suyos, para la tranquilidad de su país y hasta para el interés inmediato de la humanidad, la urgencia no era, ciertamente, tan extremada. El sol seguiría saliendo al día siguiente, y los años sucesivos y los planetas mantendrían su curso y la tierra no alteraría sus condiciones de habitabilidad porque resultarían divergentes las series de Laplace. Una secular experiencia lo acreditaba aún con una seguridad mayor de la que el mismo insigne autor calculara en su teoría analítica de las probabilidades.

No es nuestro asunto de tal magnitud y eso nos permitirá tranquilizarnos. Con nuestros actuales procedimientos de cálculos construimos nuestras presas y no se caen ya. Contra lo que se pudiera esperar, algunas antiguas subsisten y no será por un continuado milagro. Es, seguramente, que estamos ya dentro de lo que podríamos llamar el intervalo de seguridad. Los dictados de la razón práctica son que caminemos por él con la mayor prudencia sin ver en nuestras representaciones sino una grosera aproximación, una especie de *modus vivendi* que nunca debe hacernos olvidar cuanto la realidad reserva todavía, y que es, precisamente, en ese oscuro campo, apenas explorado, donde se han de encontrar los elementos que permitan nuevos progresos á la técnica del porvenir.

Aun me queda mucho que decir. Temo fatigaros y fatigarme y con la venia de la Junta directora de este Instituto podemos, si me lo permitís, dejar el tema hasta mañana.

(Continuará.)

Revista de las principales publicaciones técnicas.

Ferrocarril eléctrico de la Cerdaña, de Villefranche-de-Conflent á Bourg-Madame.

El ferrocarril eléctrico de Villefranche-de-Conflent á Bourg-Madame, en el departamento de los Pirineos Orientales (Francia), ha sido objeto de numerosos estudios, notas y memorias publicadas en diversas revistas técnicas; pero la mayor parte de estas publicaciones no han tratado generalmente más que ciertas particularidades, por esto es más interesante el estudio de conjunto que el Ingeniero de puentes y calzadas, M. Delmas publica en los *Annales de Ponts et Chaussées*, estudio que comprende la construcción de la línea propiamente dicha; su equipo eléctrico; la construcción de una fábrica hidroeléctrica, de sub-

estaciones de transformación y el establecimiento de una línea de transporte de fuerza; el establecimiento de un depósito regulador por medio de una gran presa de embalse; la construcción del material móvil. El autor describe, sucesivamente, las más importantes de estas obras, da sus características principales, explica ciertos detalles de ejecución interesantes, el precio de coste, los primeros resultados de la explotación, etc.

Indicaremos, entre las obras de arte, el viaducto de Fontpédrouse, obra del Ingeniero Séjourné. Es esta una obra de dos pisos que salva el río del Tat (fig. 1.^a); su longitud entre estribos extremos es de 217 metros y la altura entre el carril y el nivel del estiaje es de 63 metros. La originalidad de la obra reside sobre todo en la solución adoptada para salvar el lecho del río: