

Cristina Felsenhardt

ABRIENDO TERRITORIOS Y PAISAJES

Santiago en transición a la Cordillera de Los Andes

con la colaboración de
Margarita Jans y Pamela Zúñiga

Registro de propiedad intelectual
2020 - A - 8808
ISBN: 978-956-391-042-1
Abril 2021

Talleres, e investigación SCL Piedemonte
Escuela de Arquitectura
Universidad Finis Terrae

Ediciones Universidad Finis Terrae
Av. Pedro de Valdivia 1509
Providencia
www.uft.cl/ediciones

Impresión
Ograma Impresores

Editora de contenidos y de texto

Margarita Jans

Editora técnica

Producción gráfica

Pamela Zúñiga

Ayudantes

Claudio Araya

Valeria Fernández

Fernanda Fuenzalida

Trinidad Hermosilla

Alfonsina Maino

Bárbara Navarro

Corrección de texto y estilo

Filigrana Traducciones

Asesoría diseño gráfico

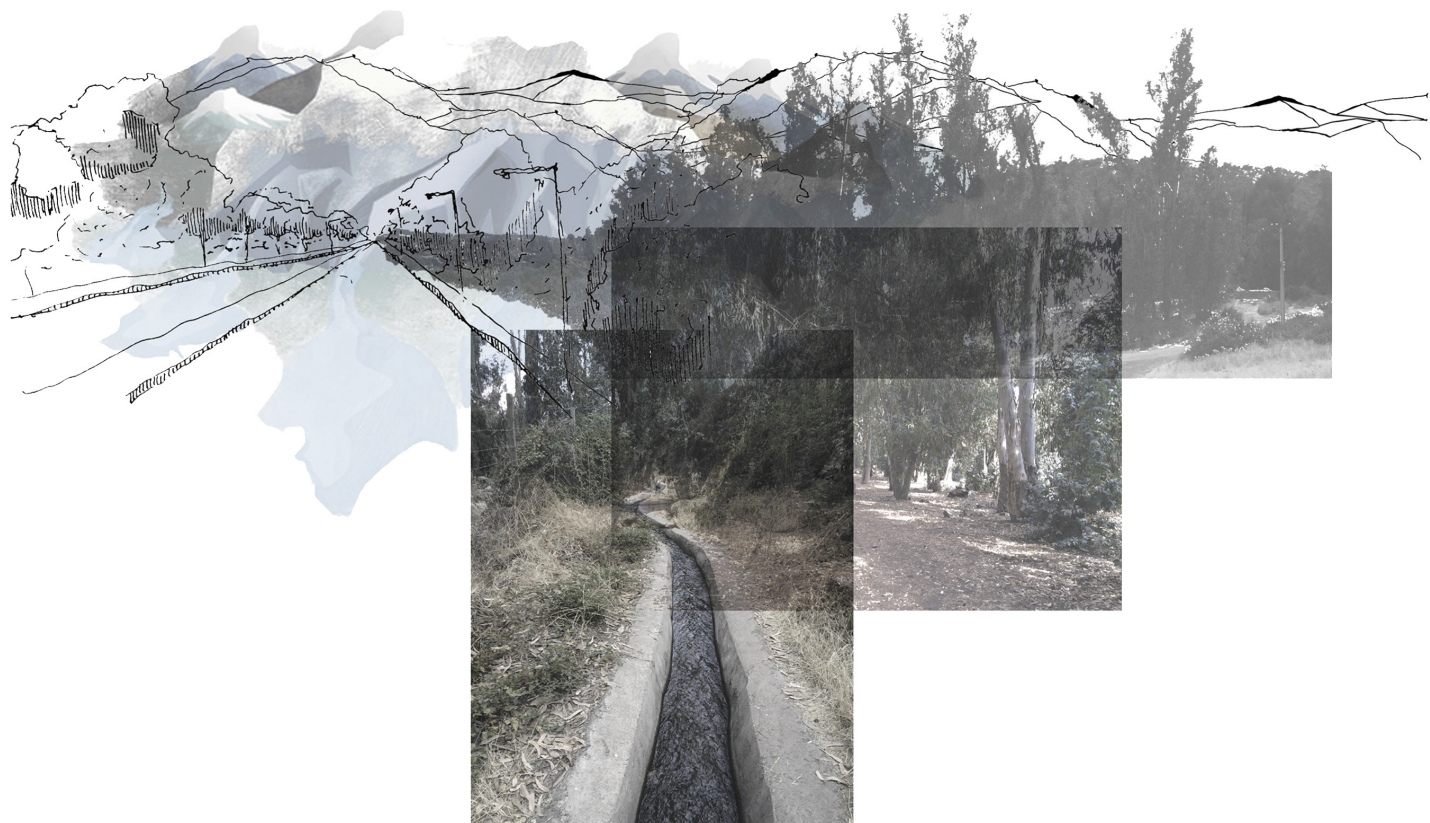
Ximena Izquierdo

Traducción

Filigrana Traducciones

Cristina Felsenhardt

HIDROLOGÍA
G. MATHIAS KONDOLF
Hidrólogo, Geólogo y Planificador ambiental



DESARROLLO URBANO EN CUENCAS ALUVIALES:
DESAFÍOS DE PLANIFICACIÓN
URBAN DEVELOPMENT ON ALLUVIAL FANS:
PLANNING CHALLENGES

Las montañas de San Gabriel proporcionan un telón de fondo escénico a las ciudades de la cuenca de Los Ángeles en California, al igual que las cordilleras transversales (Transverse Ranges) en Santa Bárbara y los Andes en Santiago de Chile. Estas se elevan abruptamente desde las llanuras y valles adyacentes hasta una altura de más de 3.000 m s.n.m, aunque la majestuosidad de su dramático escenario contrasta con la amenaza que suponen las inundaciones repentinas y los flujos de detritos para los asentamientos humanos que se encuentran a sus pies. Sin embargo, estos procesos no ocurren todos los años y, de hecho, el tiempo de retorno -el intervalo entre eventos- se mide generalmente en décadas. Como es típico de zonas climáticas semiáridas, los cursos de agua pueden permanecer secos durante años, registrando crecidas repentinas sólo en forma esporádica. Las personas que llegan a un entorno como este pueden decidir construir sobre este sin darse cuenta de que se encuentran directamente sobre el camino de inundaciones futuras[1]. Cuando estas inundaciones o aluviones ocurren pueden ser extremadamente destructivas al ser capaces de transportar grandes volúmenes de rocas y detritos y dañar las construcciones

The San Gabriel Mountains provide a scenic backdrop to the cities of the Los Angeles basin in California, as do the Transverse Ranges above Santa Barbara, California, and the Andes above Santiago, Chile. The latter rise steeply from their adjacent valley floors to a height of over 3000 m a.s.l., but the majesty of their dramatic scenery contrasts starkly with the threat posed by flash floods and debris flows to the human settlements that lie at their feet (01). The conditions that create these flash floods and debris flows do not occur every year and, in fact, the return interval—the time interval between occurrences—is typically measured in decades. As is typical of landscapes in semi-arid climatic zones, watercourses can remain dry for years, carrying flash floods only every decade or so. As a result, newcomers to these environments may choose to build on dry streambeds, without realizing that they are directly in the path of future flash floods.[1] When the floods eventually do occur, they can be extremely destructive. Flash floods and debris flows can transport large boulders and sweep buildings off their foundations. Debris flows originating in the mountains can flow for miles out onto the valley floor. They usually follow pre-existing drainage paths, although, as these tend to



01.
Abanicos Aluviales invadidos
por el desarrollo urbano.
Rancho Cucamonga, Condado
San Bernardino, California, USA.
Imagen del autor.

hasta sus cimientos. Los flujos de agua cargados de detritos y sedimentos pueden fluir por kilómetros hasta el fondo del valle siguiendo las canales naturales de drenaje aunque, tienden a dividirse en múltiples brazos lo cual introduce, además, un elemento de imprevisibilidad en cuanto a su trayectoria. Brett Sanders y Stanley Grant (2020) se refieren a las “inundaciones ultrapeligrosas”, como “inundaciones de inicio rápido, de alta velocidad, erosivas, cargadas de escombros, con trayectorias de flujo impredecibles, para las que no se puede suponer que la elevación sobre el nivel del relleno mitigue los daños y los riesgos para la seguridad pública” [2]. Como se describe a continuación, para controlar las inundaciones y los flujos de detritos se suelen aplicar medidas

estructurales, incluidos embalses de control de inundaciones y piscinas de decantación, muros de contención y diques, así como canales de hormigón de diseño estructural, como los que se observan a lo largo del río Los Ángeles. Sin embargo, esas medidas estructurales están concebidas para contener las aguas de crecida sólo hasta un “caudal específico de diseño” y pueden no constituir una medida de prevención suficiente durante eventos de inundación con elevadas cargas de sedimentos. Así, el desarrollo urbano sobre abanicos aluviales implica un conjunto de problemas específicos de planificación. Los mismos procesos que crearon la superficie sobre la que se construyen los edificios, pueden amenazar las estructuras. El asentamiento en estos peligrosos terrenos

split into multiple channels over time, there is an element of unpredictability as to their routes. Sanders and Grant (2020) refer to 'ultrahazardous flooding', defined as "rapid-onset, high-velocity, erosive, debris-laden flooding with unpredictable flow paths for which elevation-on-fill cannot be presumed to mitigate damage and public safety risks".[2]

As described below, structural measures are commonly implemented to control floods and debris flows, including flood control impoundments and debris basins, floodwalls and dikes, and engineered, concrete channels, as seen along the Los Angeles River. However, these structural measures are designed to contain floodwaters only up to a specified 'design flow' and may not constitute adequate provision for the high sediment loads that can occur.

Thus, urban development on alluvial fans involves a distinct set of planning challenges. The very processes that created the surface on which buildings are constructed now threaten the structures themselves. Settlement on these hazardous landforms is often encouraged by structural measures designed to control water and debris, but these structures can become overwhelmed during large events. In this paper, I review a number of salient characteristics of the geologic setting and consider the hazards posed to urban settlements, drawing upon examples from Southern California.

Alluvial Fans

Where steep mountains abut flatter lowlands, the rivers and streams debouching from the mountains are commonly subject to flash floods with high sediment loads and/or debris flows. As the sediment-laden flows encounter the lower-gradient valley floor, they drop their coarse load, over time building up cone-shaped landforms known as alluvial fans. When the main flow has been following one channel for some time, this channel becomes choked with deposited sediment until it no longer constitutes the 'path of least resistance', and the main flow switches to another channel where it begins to deposit sediment. In this way, the alluvial fan grows more or less evenly across its surface, creating a distinctive cone-shaped landform (.02). The surface of the alluvial fan slopes away from the mountain front, descending steeply at first in what is termed the proximal fan (near the top), and becoming more

gradual towards the distal fan (towards the base). Grain sizes are coarsest in the proximal fan, becoming finer in the distal fan. As water flows across the fan, it tends to infiltrate through the proximal fan, as this is the first coarse, loose sediment encountered by the stream after leaving the mountains. The water table is usually deep under the proximal fan surface, which, along with its coarse grain sizes, leads to naturally high recharge rates (03). In distal reaches, the water table may intersect the surface, resulting in emerging groundwater. In some cases, layers of fine-grained sediment 'cap' water-bearing layers of sand, known as aquifers, pressurizing the groundwater in a confined layer. If a well is drilled into such a confined layer, the water will rise under pressure to a level higher than the aquifer itself. If water flows freely from the well at the ground surface, it is known as a flowing artesian well.

Flood and Debris-Flow Control Infrastructure

As flash floods and debris flows are natural processes in the transition from mountain to lowland, efforts to control these processes constitute *a form of 'Control of Nature'*, a term used by John McPhee in his celebrated 1989 book of the same title. One of the three examples reported by McPhee is the system of debris basins and flood control channels operated by the Los Angeles County Flood Control and Water Conservation District [3]. The basic idea of the debris basin is to create a zone in which a debris flow stops moving and deposits its sediment while allowing the flowing water to continue downstream. Debris basins typically incorporate an open-ended vertical pipe or 'riser', such that when floodwaters rise sufficiently high, water enters the riser to pass through the dam and on downstream, leaving most of the sediment to settle in the debris basin. Downstream of the basin, the water is conveyed through a concrete flood-control channel, as discussed below.

The debris basin on Santa Anita Wash, one of 162 such structures operated by the Los Angeles County Flood Control District, is illustrative of this design. The debris basin is located at the apex of the alluvial fan, capturing flows of water and sediment as they leave the mountains (04). The basin is sized to capture sediment from a 'design event' and to release water downstream through a concrete box-culvert, whose design assumes the water is sediment-free or nearly so. Thus, debris

se ve, a menudo, amenazado por las medidas estructurales destinadas a controlar el flujo del agua y los detritos, ya que estas estructuras pueden verse sobrepasadas durante grandes eventos. En este documento se revisa una serie de características destacadas del entorno geológico y los peligros que se plantean a los asentamientos urbanos, basados en ejemplos del sur de California.

Conos aluviales

Donde montañas elevadas limitan con llanuras bajas, ríos y quebradas que descienden de las montañas pueden producir inundaciones repentinas con alta carga de sedimentos y flujos de detritos. Cuando los flujos cargados de sedimentos se encuentran con los valles de baja pendiente depositan su carga de sedimentos, construyendo progresivamente formas cónicas de relieve, conocidas como abanicos aluviales. Si el flujo principal sigue por un tiempo un mismo canal, este puede ser relleno por los sedimentos hasta que este ya no constituye el “camino de menor resistencia”, el flujo principal se desvía hacia otro canal, donde el proceso se repite. De esta manera, el abanico aluvial crece en forma aleatoria en superficie, hasta formar la distintiva forma cónica que los caracteriza (01). La superficie del abanico aluvial se inclina alejándose del frente montañoso, presentando un fuerte inclinación cerca del frente montañoso, en lo (abanico proximal) disminuyendo la pendiente hacia la zona distal). El tamaño de los granos de los sedimentos es mayor en la zona proximal, haciéndose más fino hacia el abanico distal. Cuando el agua fluye a través del cono, tiende a infiltrarse más en la zona proximal debido a que esta contiene sedimentos gruesos no consolidados, los primeros con los cuales se encuentran los flujos una vez que abandonan la montaña, lo que da lugar en forma natural a altas tasas de recarga (02). La capa freática suele ser profunda en abanico proximal mientras que las zonas distales, el nivel freático puede intersectar la superficie, resultando en la emergencia de aguas subterráneas. En algunos casos, capas de sedimentos de grano fino “sellan” niveles saturados de arena que contienen agua, elevando la presión del agua generado acuíferos confinados. Si se perfora un

pozo en esa capa confinada, el agua subirá a un nivel superior al del propio acuífero. En algunos casos el agua que sube por el pozo puede alcanzar la superficie, originando un pozo artesiano.

Infraestructura de control de inundaciones y flujos de detritos

Como los flujos repentinos y los flujos de detritos son procesos naturales que ocurren en zona de la transición entre montañas y llanuras, los esfuerzos para controlarlos constituyen una forma de ‘Control de la Naturaleza’, término utilizado por John McPhee en su célebre libro de 1989 del mismo título. Uno de los tres ejemplos señalados por McPhee, es el sistema de piscinas decantadoras y canales de control de inundaciones operado por el Distrito de Control de Inundaciones y Conservación del Agua del Condado de Los Ángeles[3]. La idea básica de las piscinas decantadoras es crear una zona en la cual los flujos se detengan y depositen sus sedimentos, al mismo tiempo que el agua sigue su camino. Las piscinas decantadoras incorporan generalmente un tubo vertical abierto, o “riser”, que permite que las aguas de la inundación suban y pueda sobrepasar el dique continuando corriente abajo, dejando mayoría de los sedimentos depositados en la piscina de decantación. Aguas abajo de la piscina, el agua es, generalmente, conducida hacia un canal de concreto para el control de las crecidas, como se explica a continuación.

Como ejemplo de estas estructuras se puede mencionar la piscina de decantación de Santa Anita Wash, una de las 162 estructuras de ese tipo administrada por Distrito de Control de Inundaciones del Condado de Los Ángeles. La piscina de decantación está situada en el ápice del abanico aluvial, capturando los flujos de agua y sedimentos a medida que abandonan las montañas (03). La piscina tiene el tamaño adecuado para capturar los sedimentos de un “evento de diseño” y para liberar el agua, corriente abajo, a través de una cámara de alcantarillado de hormigón, cuyo diseño asume que el agua está libre o casi libre de sedimentos. Las piscinas de decantación no pretenden regular el flujo per se, sino manejar los sedimentos.

basins are not intended to regulate flow per se, but to manage sediment. The structure also serves to facilitate groundwater recharge by diverting water into the shallow basins of the spreading fields that flank the channel. These basins detain floodwaters, allowing water to percolate into the permeable sediments (05 and 06). The District discs the ground surface in the spreading basin to break up any soil crust that might form and reduce permeability. In addition to its debris basins, the District operates 14 flood control reservoirs—larger structures designed to store sufficient water to reduce flood peaks downstream. Thus, the ensemble of structures serves a triple purpose of sediment control, floodwater conveyance, and groundwater recharge.

Downstream of the basins are the engineered channels, normally straightened and made as smooth as possible to increase the efficiency with which they can convey floodwaters downstream. These are often concrete channels, emblematic of the Los Angeles River and the setting for iconic film scenes, such as *Grease* and *Terminator 2*. The US Army Corps of Engineers constructed many such channels under cost-share arrangements, whereby the federal government paid the bulk of the costs and the Corps designed and constructed the channels before turning them over to local Flood Control Districts for operation and maintenance. The proliferation of these channels was especially encouraged in California because local governments were not required to pay even the modest cost share required at the time. After World War II, the state government had a budget surplus, and used some of these excess funds to pay the local cost share on Corps projects, making the projects free—and thus irresistible—to local governments.[4] As a result, present-day local flood control agencies have inherited many such engineered concrete channels, complete with their maintenance and end-of-life problems.

The Problem of Residual Risk and Induced Development

While the system has so far succeeded in reducing damage caused by floods and debris flows, it has some important caveats. The structures are only designed to manage flows up to a specified design event, and larger incidents can easily exceed the capacity of the debris basins. This occurred in October 1976 in La Paz, Mexico, as described by Sanders and Grant (2020), across the Los Angeles Basin in 1969 and 1978,

as vividly described by McPhee (1989), and in Santa Barbara County, California, in 2018.

The flood control structures have encouraged development, increasing human exposure to the effects of floods. This is a variant of the well-known ‘levee effect’, whereby the existence of (limited) structural protection from levees (dikes) leads to the perception that flood risk has been eliminated, which then encourages more development on floodplains. However, the floodplains remain susceptible to flooding by volumes exceeding the ‘design flow’ for which the structure was built. In the US, the standard has generally been the ‘100-year’ flood, i.e., the flood that occurs on average once in a century, or, to put it another way, the ‘one-percent flood’, which has a 1% probability of occurring in any given year. Developments on floodplains ‘protected’ up to the 100-year flood are still exposed to damage from larger floods, and this is termed the ‘residual risk’.[5] For example, the 200-year flood has a 0.5% chance of occurring in any given year, the 500-year flood has a 0.2% chance, the 1000-year flood has a 0.1% chance, etc. These are still significant probabilities of flooding, especially when the aggregate risk is considered over time. Over a 30-year period (the typical length of a home mortgage loan in the US), the residual risk (i.e., cumulative probability of being affected by floods larger than the 100-year design flood) is 26%.

The alluvial fan setting differs from the classic river floodplain setting: the cone shape of the alluvial fan means that the land surface typically slopes away from the currently active alluvial fan channel. Thus, when floods exceed the capacity of engineered channels or levees, water does not spread out evenly, as over a flat floodplain, but flows down the cone-shaped surface of the alluvial fan, usually occupying former channels. The shift from one channel to another is termed ‘avulsion’. Thus, the hazard to developments on an alluvial fan is very different from that present on a floodplain[6]. Areas of floodplain may simply become inundated, a disastrous situation in its own right, but when a channel avulses on an alluvial fan, the area over which the new channel flows is exposed to concentrated, high-velocity flow, posing significant threat to life and property[7]. The suddenness of channel avulsions and the high velocities involved mean that there may be no opportunity to warn those residents at risk.

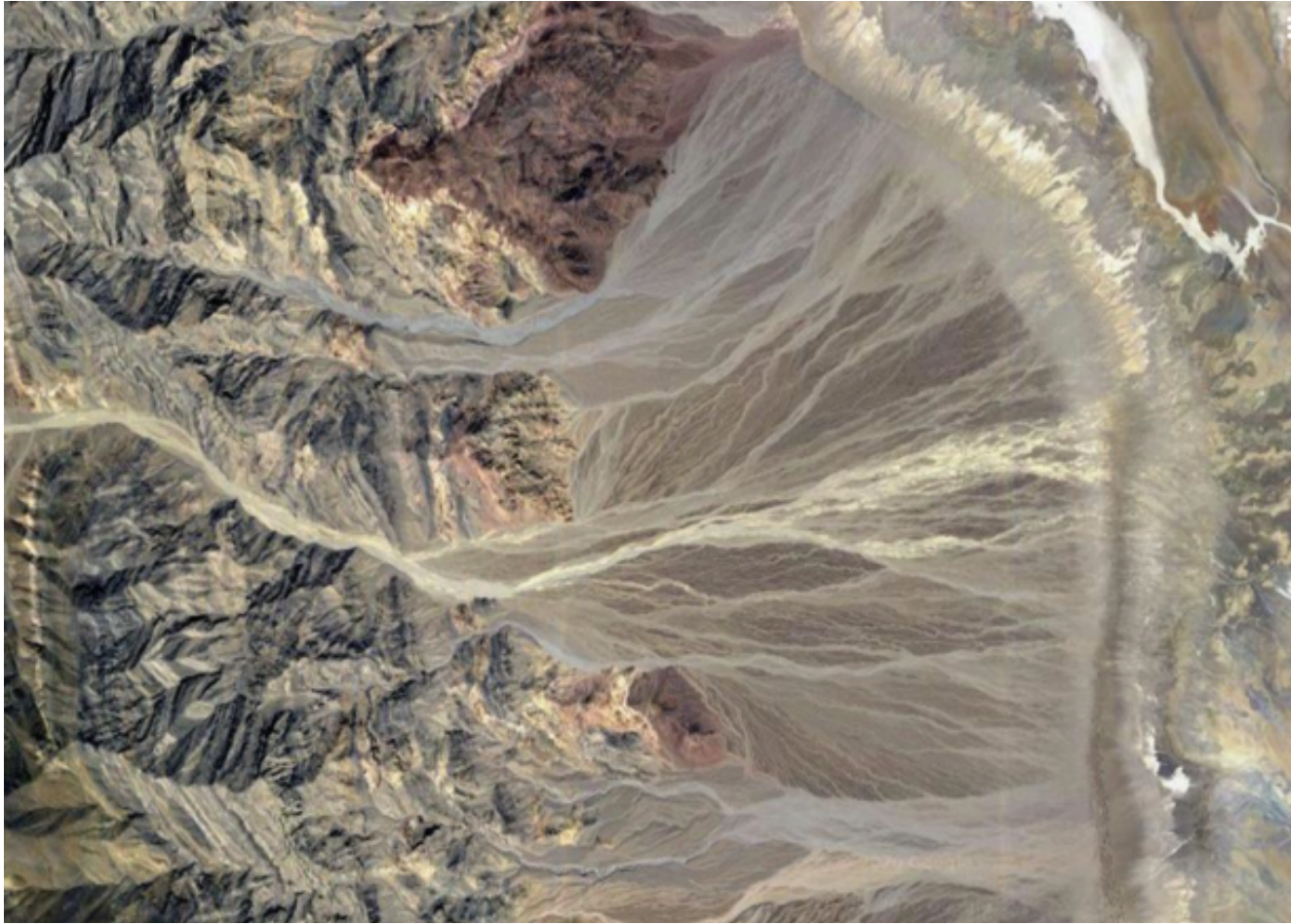
La estructura también sirve para facilitar la recarga de aguas subterráneas, desviando el agua hacia los terrenos de absorción que flanquean el canal. Estas piscinas retienen las aguas de inundación, permitiendo que se infiltre en los sedimentos permeables (04 y 05). El Distrito interviene la superficie del suelo en los terrenos de absorción, rompiendo cualquier cubierta impermeable que pueda formarse y reduce la permeabilidad. Además de sus piscinas de decantación, el Distrito opera quince embalses de control de crecidas, estructuras gran tamaño diseñadas para almacenar suficiente agua para reducir los flujos máximos aguas abajo. En resumen, el conjunto de estructuras cumple un triple propósito de control de sedimentos, transporte de aguas de crecida y recarga de aguas subterráneas.

Aguas abajo de las piscinas se encuentran canales artificiales, normalmente rectos y de pendiente lo más uniforme posible lo cual aumenta la eficacia con la que transportan las aguas. El Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos construyó muchos de los emblemáticos canales de concreto del río Los Ángeles han servido como escenarios icónicos de películas, como *Grease* y *Terminator 2*. Esos canales fueron construidos, después de la Segunda Guerra Mundial, en virtud de acuerdos de participación en los gastos, de los cuales el Gobierno Federal pagó la mayor parte de los costos y el Cuerpo de Ingenieros los diseñó construyó antes de entregarlos a los Distritos Locales de Control de Inundaciones, para su operación y mantenimiento. La proliferación de estos canales se impulsó especialmente en California, porque, en esa época, los gobiernos locales no estaban obligados a pagar ni siquiera una modesta participación en los costos. Como el gobierno del estado tenía un superávit presupuestario, utilizó algunos de estos excedentes de fondos para pagar la participación en los costos locales de los proyectos del Cuerpo de Ingenieros, haciendo que éstos fueran, finalmente, gratuitos -y por lo tanto irresistibles- para los gobiernos locales [4]. Como resultado, los actuales organismos locales de control de inundaciones han heredado muchos de aquellos canales de concreto, y sus problemas de mantenimiento.

El problema del riesgo residual y el desarrollo inducido

Si bien el sistema ha logrado hasta ahora reducir los daños causados por las inundaciones y los flujos de detritos, tiene algunos problemas importantes. Las estructuras sólo están diseñadas para regular los flujos hasta un evento determinado de diseño, pero los eventos de mayor envergadura pueden superar fácilmente la capacidad de las piscinas decantadoras. Esto ocurrió en octubre de 1976 en La Paz (México), y como fue descrito por Brett Sanders y Stanley Grant (2020), también en la cuenca de Los Ángeles en 1969 y 1978, según lo descrito vívidamente por John McPhee (1989), y en el condado de Santa Bárbara (California) en 2018.

Las estructuras de control de inundaciones han impulsado el desarrollo urbano pero han aumentado la exposición humana a los efectos de estas. Esto es una variante del conocido "efecto de barrera", donde obras de protección estructural (limitada) dan lugar a la percepción de que el riesgo ha sido eliminado. Sin embargo, zonas como las descritas siguen siendo susceptibles de inundarse durante eventos que exceden el flujo de diseño para el cual las estructuras de protección fueron construidas. En los Estados Unidos, la norma sobre inundaciones, ha sido generalmente la de "100 años", es decir, considera los efectos de una inundación que puede ocurrir, en promedio una vez por siglo, o, de otra manera, la "inundación del 1%", que tiene una probabilidad del 1% de ocurrir en un año determinado. Las urbanizaciones en zonas de inundación "protegidas" hasta el flujo de los 100 años, siguen estando expuestas a daños por inundaciones mayores, lo que se denomina "riesgo residual" [5]. Por ejemplo, la inundación cada 200 años tiene una probabilidad de ocurrir de 0,5% en un año determinado, la de 500 años tiene una probabilidad del 0,2%, la de 1000 años tiene una probabilidad del 0,1%, etcétera. Estas son todavía probabilidades significativas de inundación, especialmente cuando el riesgo agregado se considera a lo largo del tiempo. En un período de 30 años (la duración típica de un préstamo hipotecario de vivienda en los Estados Unidos), el riesgo residual (es decir, la probabilidad



‘Enhanced Value’

The engineered flood control channels built in the San Francisco Bay region by the US government in the post-war years (mostly between the 1950s and the 1970s) were required to show a positive ‘cost-benefit’ ratio, meaning that the anticipated benefits of the project (reduced losses from future floods) would be greater than the cost of constructing the channels. However, much of the land that would be protected from flooding by these projects was undeveloped (largely agricultural), and so the value of the protection was too low to justify the construction cost. For project promoters, the way around this problem was to include the notion of ‘enhanced value’ in the cost-benefit calculation. The idea was that construction of the

02. Abanico aluvial en Badwater Basin, Parque Nacional Valle de la muerte, California, USA. Muestra los múltiples canales de distribución que emanan del ápice del abanico donde el canal sale de las montañas, creando una forma de abanico. Los canales de color más claro están activos más recientemente, las superficies más oscuras son depósitos de abanicos más antiguos. Imagen del autor.

acumulada de verse afectado por inundaciones mayores que la inundación de cada 100 años) es del 26%. Los abanicos aluviales difieren del ambiente clásico de las llanuras de inundación fluvial y, por lo tanto la naturaleza el peligro para los desarrollos inmobiliarios es, en ambos casos, muy diferente: la forma cónica del abanico aluvial significa que la superficie del terreno se inclina típicamente en dirección oblicua la pendiente del canal activo del abanico aluvial. De esta manera, cuando las crecidas superan la capacidad de los canales, o diques artificiales, el agua no se distribuye uniformemente sobre el terreno como en las llanuras de inundación sino que fluye por la superficie del cono en forma concentrada y discreta ocupando, antiguas quebradas y arroyos. La migración del flujo desde un canal a otro se conoce como “avulsión”. Las llanuras de inundación, planas, pueden simplemente inundarse, una situación de por sí desastrosa, pero cuando un canal se vacía en un abanico aluvial, la zona sobre la que fluye el nuevo canal está expuesta a un flujo concentrado y de alta velocidad, lo que supone una importante amenaza para la vida y la propiedad [7]. El carácter repentino de las avulsiones del canal y las altas velocidades implícitas significa que, en muchos casos, no habrá oportunidad de advertir del peligro a los residentes.

‘Valor agregado’

Los canales de control de inundaciones construidos en la región de la Bahía de San Francisco por el gobierno de los Estados Unidos en los años de la posguerra (principalmente entre las décadas de 1950 y 1970), debían mostrar una relación positiva de “costo-beneficio”, lo que significaba que los beneficios previstos del proyecto (reducción de las pérdidas por futuras inundaciones) debían ser mayores que el costo de la construcción de las obras. Sin embargo, gran parte de los terrenos (principalmente agrícolas), que se protegerían de las inundaciones mediante estos proyectos, no estaban urbanizados por lo que el valor de la protección era demasiado bajo para justificar el costo de la construcción. Para los promotores de proyectos inmobiliarios, la forma de solucionar este problema fue incluir la noción de “valor agregado” en el cálculo

de costo-beneficio. La idea era, que la construcción del canal y la promesa de protección contra las inundaciones atraerían el desarrollo y, por lo tanto, aumentaban el valor de los terrenos protegidos, y para la mayoría de los proyectos construidos en la región de la bahía de San Francisco, la inclusión de este aumento anticipado fue la única razón de las relaciones positivas de costo-beneficio [8]. Hoy en día, la política del Gobierno Federal prohíbe la inclusión del “valor agregado” en los cálculos de costo-beneficio.

El rol crítico de los gobiernos locales

Los gobiernos locales tienen, en los Estados Unidos y en muchos otros países, la autoridad primaria sobre la planificación del uso de los terrenos, lo que significa que su papel es de importancia crítica. En los Estados Unidos, las autoridades locales son responsables de prevenir la expansión de la urbanización en conos aluviales capaces de ser afectados por inundaciones cada 100 años, en las comunidades que se benefician del Programa Nacional de Seguros contra Inundaciones. Sin embargo, existen muchos ejemplos bien documentados de gobiernos locales, que socavan los objetivos del programa, al conceder permisos de construcción para viviendas en zonas expuestas a inundaciones [9]. Los gobiernos locales suelen estar fuertemente influenciados por los intereses inmobiliarios, e incluso cuando intentan “hacer lo correcto”, se enfrentan a desafíos tales como los derechos de propiedad privada y oposición política a las limitaciones del crecimiento urbano.

El conflicto entre prioridades nacionales y locales no es nuevo. En este caso, el objetivo nacional de reducir las pérdidas por inundaciones implica algunas restricciones en cuanto a los lugares en que se permite la urbanización, pero esto entra en conflicto con las prioridades de los gobiernos locales en materia de desarrollo urbano y crecimiento económico. Esto crea un dilema: muchas políticas nacionales deben ser aplicadas por los gobiernos locales, cuyas motivaciones y limitaciones son muy diferentes de las del gobierno nacional. Como describen Peter J. May y Walter Williams (1986), “los funcionarios federales tienen

engineered channel and the promise of protection against floods would attract development and thereby increase the value of the land being protected, and for most of the projects built in the San Francisco Bay region, inclusion of this anticipated increase was the sole reason for positive cost-benefit ratios.[8] Today, federal government policy prohibits inclusion of 'enhanced value' in cost-benefit calculations.

The Critical Role of Local Government

Local governments have primary authority over land-use planning in the US and many other countries, meaning that their role is of critical importance. In the US, local authorities are responsible for preventing further development in the 100-year floodplain in communities that benefit from the National Flood Insurance Program, but there are many well-documented examples of local governments undermining the goals of the program by granting building permits to houses that are exposed to flooding.[9] Local governments are often strongly influenced by development interests, and even when they attempt to 'do the right thing', they face challenges in the form of private property rights and political opposition to limiting urban growth.

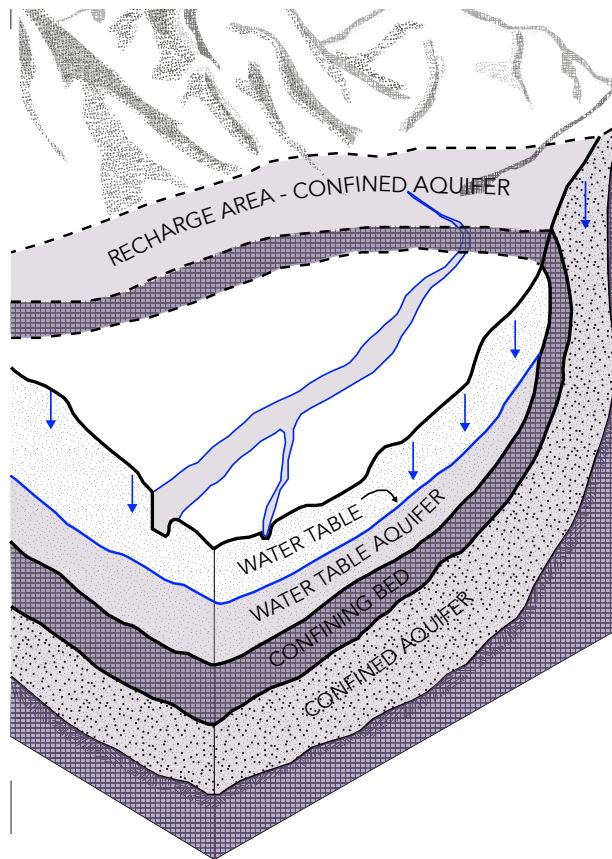
The problem of national priorities conflicting with local priorities is not new. In this case, the national goal of reducing flood losses implies some restrictions on where urbanization is allowed to occur, but this conflicts with local government priorities for urban development and economic growth. This creates a dilemma: many national policies must be implemented by local governments, whose motivations and constraints are very different to those of the national government. As described by May and Williams (1986), "federal officials have a strong stake in promoting hazard mitigation and preparedness but little direct control over the effectiveness of such efforts...subnational governments and individuals owning property in hazardous areas directly control the effectiveness of mitigation and preparedness policies, but for the most part actions consistent with such policies are low on their list of priorities".[10]

An extreme example of local government irresponsibility is Cabazon, in the desert of eastern California. Cabazon consists of scattered residential settlements, mostly house

trailers, and is located in the San Gorgonio Pass in Riverside County at the intersection of the San Gorgonio River (running roughly west to east) with Millard Canyon Creek (draining about 38 km² of rolling hills to the north) and Jenson Creek (flowing from the south, draining about 10 km² of the steep slopes of the San Bernardino Mountains). Cabazon is now unincorporated land within Riverside County, but in 1955 it was incorporated to allow legalized gambling, which was permitted only in towns and cities. Incorporation gave Cabazon's officials the authority to approve new subdivisions, and in the 1960s, hundreds of small lots were approved along the active channel of the San Gorgonio River, particularly on the Jenson Creek alluvial fan, without any consultation with the Riverside County Flood Control District.[11]

Large-scale floods in 1969 caused extensive damage to streets and utilities in Cabazon, resulting in financial pressures that led city officials to disincorporate the town in 1972. As a result, the lots reverted to the jurisdiction of the County, which has since struggled with how to regulate land use and flood risk in Cabazon. A flood hazard analysis was commissioned in 1979 to identify areas of higher risk, precluding development where flow velocities were predicted to reach 5 m/s and recommending minimum lot sizes of 0.2 ha on the Jenson Creek fan.[12] The small size of the existing lots meant that several would typically need to be combined in order to achieve the minimum lot size. Adoption of the flood plain map (required for participation in the National Flood Insurance Program) was vehemently opposed by developers and their attorneys, but the County Board of Supervisors did eventually adopt the map, and were reminded of the potential for flood damage by the occurrence of several major floods in the county during the years in which the map was being developed and assessed. As with any alluvial fan, flows on the Jenson Creek fan can easily shift from the current channel to another, posing a significant risk to any dwellings that stand in the way and posing an ongoing threat in Cabazon.

Even where local governments are keen to prevent development in hazardous areas, they face the legal obstacles associated with regulation of private property. In the wake of the 2018 debris flows in Santa Barbara County, residents whose houses were in the path of the debris flows are now rebuild-



01. Diagrama de corte de cono aluvial
(redibujado en base a imagen del autor)

03. Imagen aérea detallada de Santa Anita Wash, muestra la salida de la piscina de decantación y el canal de hormigón flanqueado por el área de recarga de los "terrenos de esparcimiento" río abajo. Las aguas de inundación se desvían hacia los terrenos de esparcimiento, donde se mantiene el agua y se permite que se infiltre en el sustrato permeable.

Fuente: Google Maps, imagen del autor.

un gran interés en promover la mitigación de los peligros y la preparación para ellos, pero tienen poco control directo sobre la eficacia de esos esfuerzos... los gobiernos subnacionales y las personas que poseen propiedades en zonas peligrosas controlan directamente la eficacia de las políticas de mitigación y preparación, pero en su mayor parte las medidas coherentes con esas políticas ocupan un lugar bajo en su lista de prioridades" [10].

Un ejemplo extremo de la irresponsabilidad de los gobiernos locales es Cabazon, en el desierto de California oriental. Cabazon es una comunidad formada por asentamientos residenciales dispersos, en su mayoría casas rodantes, ubicada en el paso de San Gorgonio, condado de Riverside, en la confluencia del río San Gorgonio (que corre aproximadamente de oeste a este), con el arroyo Millard Canyon (que drena unos 38 km² de colinas onduladas al norte) y Jenson Creek (que fluye desde el sur, drenando unos 10 km² de las escarpadas laderas de las montañas de San Bernardino) (06). Cabazon es un territorio que fue desvinculado del condado de Riverside, en 1955 para permitir el juego legalizado, que sólo se permitía en pueblos y ciudades. Esta mediada dio autoridad a los funcionarios de Cabazon para aprobar en los años 60, sin ninguna consulta con el Distrito de Control de Inundaciones del Condado de Riverside [11], cientos de pequeños loteos a lo largo del canal activo del río San Gorgonio, y particularmente en el abanico aluvial de Jenson Creek. Grandes inundaciones ocurridas en 1969, causaron extensos daños en calles y servicios públicos de Cabazon, lo que provocó, en 1972, presiones financieras que llevaron a que los predios volvieron a la jurisdicción del condado, que desde entonces ha luchado por regular el uso del suelo y el riesgo de inundaciones. En 1979 se completó un análisis de riesgos de inundación para identificar las zonas de mayor peligro, excluyendo las urbanizaciones en zonas que se preveía que las velocidades del flujo alcanzarían los 5 m/s, y recomendando tamaños mínimos de predios de 0,2 ha en el abanico del arroyo Jenson [12]. La adopción del mapa de áreas de inundación (requerido para la participación en el Programa Nacional de Seguros de Inundaciones), fue vehementemente rechazada por



ding their damaged or destroyed properties in the same hazardous locations, and the County is powerless to stop them.

Maintenance and end-of-life for engineered channels

Engineered flood control channels are designed to convey floodwaters with a minimum of friction while occupying the smallest possible space, thus leaving more land available for economically profitable uses. However, rivers and streams naturally carry not only water, but sediment as well. Sediment can settle out in engineered channels, increasing roughness and reducing cross-sectional area, thus decreasing channel conveyance. This is especially true in the lower-gradient, downstream reaches of urban engineered channels, where sedimentation can commonly exceed a meter in thickness. When the engineered channels of the US were turned over to local Flood Control Districts, the latter were charged with their operation and maintenance, including the obligation to keep them free of sediment. This task poses a huge challenge to the districts, as mechanical removal of sediment is costly, and deposition varies from year to year in the local Mediterranean climate, with the higher flows brought by wet years laying down

more sediment. For example, in Corte Madera Creek (San Francisco Bay region), removal of sediment deposited during a wet year could consume most of the Flood Control District's annual budget.[13] The problem becomes more complicated if sediment is not removed promptly: within a couple of growing seasons, willows and other riparian vegetation can become established on sediment deposits. The roots of these plants help to stabilize the deposits, making them more difficult to remove from a mechanical perspective, and, more significantly, the new vegetation may be considered habitat, thus requiring lengthy environmental permitting for removal.

Like any infrastructure, engineered flood control channels have a design life—typically 75 years for a concrete channel—after which they generally need to be replaced, or at least repaired. Decommissioning, repair and replacement costs are not included in cost-benefit analyses; instead, the bill arrives decades later on the desk of local government, whose engineers, planners, and elected officials were not involved in the decisions to build these channels, and who have now simply inherited the problem. Because many of these channels were built explicitly to encourage development on

los urbanizadores y sus abogados. Sin embargo la Junta de Supervisores del Condado, finalmente adoptó el mapa recordado el potencial de daños indicado por la ocurrencia de varias inundaciones importantes ocurridas mientras se efectuaba el estudio. Como ocurre en cualquier abanico aluvial, los flujos en el abanico aluvial de Jenson Creek pueden desplazarse fácilmente del actual canal activo a otro, situación que supone un riesgo importante para cualquier vivienda que se interponga en el camino del flujo lo cual representa una amenaza constante en Cabazon.

Incluso en los casos en que los gobiernos locales están interesados en impedir el desarrollo en zonas peligrosas, se enfrentan a obstáculos jurídicos asociados a la reglamentación de la propiedad privada. A raíz de los flujos de detritos de 2018 en el condado de Santa Bárbara, los residentes, cuyas casas estaban en el camino de los flujos están ahora reconstruyendo sus propiedades dañadas o destruidas en los mismos lugares de riesgo, y el condado es impotente para detenerlos.

Mantenimiento y término de vida útil de los canales diseñados por la ingeniería

Los canales de control de inundaciones y aluviones están diseñados para transportar las aguas de las crecidas con un mínimo de fricción y ocupando el menor espacio posible, dejando terreno disponible para usos económicamente rentables. Sin embargo, los ríos y arroyos no sólo transportan naturalmente agua, sino también sedimentos que pueden depositarse en los canales lo que aumenta la rugosidad y reduce el área de la sección transversal, disminuyendo así la capacidad de transporte del canal. Esto ocurre especialmente en los tramos de menor pendiente, aguas abajo, de los canales artificiales urbanos, donde la sedimentación puede superar frecuentemente el metro de espesor. Cuando, en los Estados Unidos, los canales artificiales se entregaron a los Distritos Locales de Control de Inundaciones, estos últimos se encargaron de su funcionamiento, incluyendo la obligación de mantenerlos libres de sedimentos. Esta tarea planteó un enorme desafío a los distritos, ya que

la eliminación mecánica de los sedimentos es costosa, y la sedimentación varía de un año a otro considerado el clima local, mediterráneo, ya que durante los años lluviosos la sedimentación es mayor. Por ejemplo, en Corte Madera Creek (región de la Bahía de San Francisco), la remoción de los sedimentos depositados durante un año lluvioso puede consumir la mayor parte del presupuesto anual del Distrito de Control de Inundaciones [13]. El problema se complica si los sedimentos no se eliminan rápidamente: en un par de años, los sauces y otra vegetación ribereña pueden establecerse sobre los depósitos sedimentarios. Las raíces vegetales ayudan a estabilizar los depósitos, lo que hace más difícil su eliminación desde una perspectiva mecánica y, lo que es más importante, la nueva vegetación puede ser considerada como hábitat natural, lo cual requiere un permiso ambiental si se desea remover los sedimentos.

Como cualquier infraestructura, los canales de control de inundaciones tienen una vida útil de diseño -normalmente de setenta y cinco años para un canal de crecreto- después de la cual, generalmente deben ser reemplazados, o al menos reparados. Los costos de desmantelamiento, reparación y recambio de los canales no se incluyen en los análisis de costo-beneficio; en cambio, la cuenta llega décadas más tarde al escritorio del gobierno local, cuyos ingenieros, planificadores y funcionarios electos no participaron en las decisiones de construirlos, y que ahora simplemente han heredado el problema. Debido a que muchos de estos canales se construyeron, explícitamente, para fomentar la urbanización en los terrenos circundantes, su huella se redujo al mínimo para limitar la superficie de terreno "desperdiciado" a lo largo del corredor del río. El desarrollo urbano llega, en la actualidad, incluso al borde del canal, sin dejar espacio para que funcione el equipo pesado y haciendo que el reemplazo, o la remoción del canal de concreto sea virtualmente imposible sin una gran perturbación para las viviendas vecinas. En la cuenca de Los Ángeles, los canales de concreto construidos a mediados del siglo XX, alcanzarán sus "fechas de caducidad" a mediados del siglo XXI, y la remoción y reconstrucción de estas estructuras,



the surrounding lands, their footprint was minimized in order to limit the area of land 'wasted' along the river corridor. Urban development now commonly encroaches upon these channels, even reaching the top of the channel bank, leaving no room for heavy equipment to operate and making replacement or removal of the concrete channel virtually impossible without major disturbance to neighboring houses. In the Los Angeles basin, the concrete channels constructed in the mid-20th century will reach their 'expiration dates' by the middle of the 21st century, and planning for the decommissioning of these structures, now ubiquitous in the urban landscape, poses an enormous challenge. In the San Francisco Bay Region, the Contra Costa County Flood Control and Water Conservation District has adopted a planning policy that stretches decades into the future, involving the goal of eventually replacing some concrete channels with natural waterways. These will better reflect community values and, by providing wider corridors for streams, will yield other benefits, such as more open space, opportunities for recreation and education, the return of wildlife, and improvement of water quality.[14]

05. Vista hacia el oeste sobre el canal de hormigón de control de inundaciones hacia la "cuenca de propagación" del arroyo Santa Anita, mostrando las bermas que crean cuencas individuales para las aguas de inundación. El suelo está dislocado para mantener la permeabilidad.
Fotografía del autor.

06. Canal de hormigón para el control de inundaciones para transportar las aguas de la colada de Santa Anita aguas abajo de la cuenca de detritos.
Fotografía del autor.

Conclusion

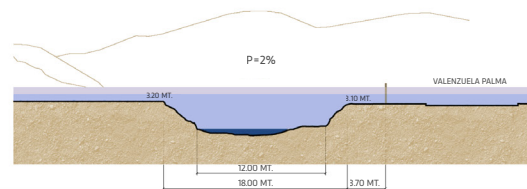
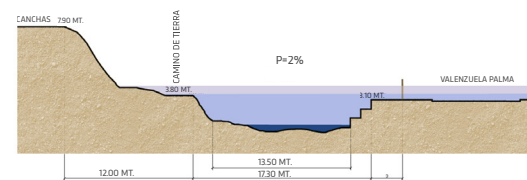
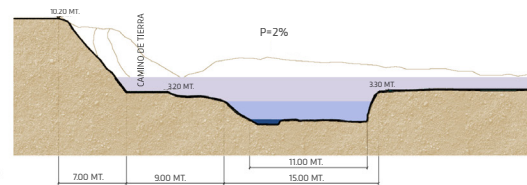
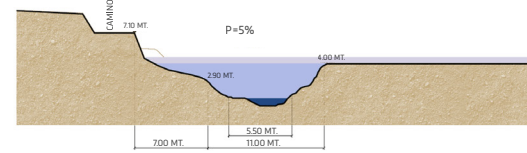
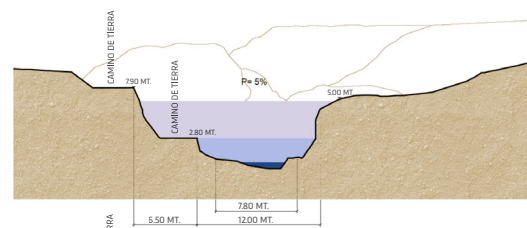
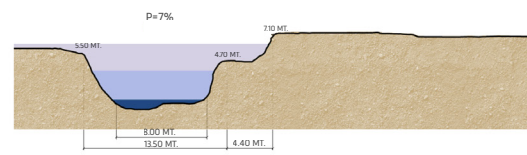
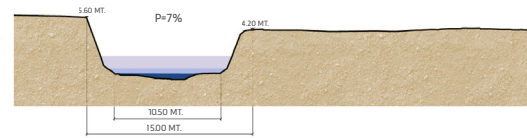
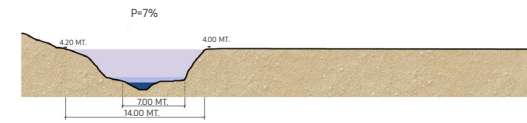
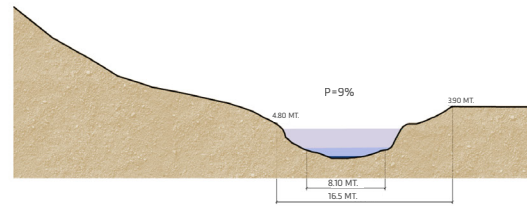
Strong pressures for urban development have driven urban sprawl up alluvial fans across southern California, putting urbanized areas at risk from floods. Given the natural tendency for streams to change their courses across alluvial fans, the adequacy of conventional flood control measures for these settings is not assured. Recent developments on alluvial fans above Santiago, Chile, are likewise at risk of flash floods and debris flows from streams draining the adjacent Andes. The conventional structural engineering approach can exacerbate the flooding problem by creating the perception that land is 'protected' from flooding, thereby encouraging further development in hazardous areas.

omnipresentes en el paisaje urbano, plantea un enorme desafío. En la región de la Bahía de San Francisco, el Distrito de Control de Inundaciones y Conservación del Agua del Condado de Contra Costa, ha adoptado una política de planificación de décadas al futuro, cuyo objetivo final incluye el eventual reemplazo de algunos canales de hormigón por vías fluviales naturales. Éstos reflejarán mejor los valores de la comunidad, proporcionando corredores más amplios para el curso de agua y produciendo otros beneficios, como más espacios abiertos, oportunidades de recreación y educación, un retorno de la vida silvestre y el mejoramiento de la calidad del agua [14].

En el sur de California, fuertes presiones han impulsado la expansión urbana sobre abanicos aluviales, poniendo en peligro de inundaciones las áreas urbanizadas. Dada la tendencia natural de los arroyos a cambiar naturalmente su curso sobre los abanicos aluviales la eficacia de las medidas convencionales de control de inundaciones y aluviones no está garantizada. Las recientes urbanizaciones en los abanicos aluviales en Santiago de Chile corren igualmente el riesgo de ser afectados por inundaciones repentinas y flujos de detritos canalizados por las quebradas que drenan el frente montañoso de los Andes. El enfoque convencional de la ingeniería estructural puede exacerbar el problema de inundaciones y aluviones, ya que, al crear la percepción de que un terreno está “protegido” de las crecidas, se puede impulsar un mayor desarrollo urbano en zonas de riesgo.

REFERENCIAS

- [1] Amir Gohar y G. Mathias Kondolf, “Flash flooding as a threat to settlements even in remote areas”, *Environment and Urbanization*, 2016.
- [2],[7] Brett Sanders y Stanley Grant, “Re-envisioning stormwater infrastructure for ultrahazardous flooding”, *WIREs Water*, 2020.
- [3] John McPhee, *The Control of Nature*, London, Hutchinson Radius, 1990.
- [4] William M. Kier, “Diverse interests in riparian systems and the potential for coalition”, en Richard E. Warner y Kathleen M. Hendrix (eds.), *California riparian systems*, Berkeley, University of California Press, 1984, pp. 231–235.
- [5] Raimond Burby y Steven P. French, “Coping With Floods: The Land Use Management Paradox”, *Journal of the American Planning Association* N°47, 1981, pp. 289–300.
- [6] Bruce M. Phillips y David T. Williams, “Design Considerations for Confining and Guiding Levees on Alluvial Fans”, *Proceedings of World Environmental and Water Resources Congress*, 2008.
- [8],[13] Pun Lok Raymond Wong, *Federal Flood Control Channels in San Francisco Bay Region. A Baseline Study to Inform Management Options for Aging Infrastructure*, PhD Dissertation, University of California Berkeley, 2014. Disponible en <https://escholarship.org/uc/item/3mr9b73b>
- [9] G. Mathias Kondolf y Pilar López-Llompert, “National-local land-use conflicts in floodways of the Mississippi River system”, *AIMS Environmental Science* 5(1), 2018, 47–63.
- [10] Peter J. May y Walter Williams, *Disaster Policy Implementation: managing programs under shared governance*, New York, Plenum Press, 1986.
- [11],[12] Kenneth L. Edwards y Jens Thielmann, *Floodplain management*, Cabazon, California, 1980.
- [14] Mitch Avalon, “Managing Stormwater in California: Our Current Crisis and a New Pathway to Sustainability”, presented at the UC Berkeley River Restoration Symposium, Berkeley, CA, December 6, 2014.



07.
Ejercicio de cortes de
inundación.
Imagen alumno Taller de Título.