

**SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA**  
**XXVII CONGRESO CHILENO DE INGENIERÍA HIDRÁULICA**

**MODELACIÓN HIDRÁULICA APLICADA AL DISEÑO DE PARQUES  
FLUVIALES EN ENTORNOS URBANOS: EXPERIENCIAS EN CUATRO  
REGIONES DE CHILE**

**GONZALO MONTSERRAT M.<sup>1</sup>**  
**FELIPE NEGRETE S.<sup>2</sup>**  
**JOAQUÍN MORENO U.<sup>3</sup>**

**RESUMEN**

En Chile, no todos los parques fluviales se conciben como obras de control hidráulico. Con frecuencia, surgen como iniciativas para recuperar espacios subutilizados, muchas veces ubicados en zonas inundables, aunque se mantengan secas gran parte del año. Es en ese contexto que la ingeniería hidráulica se vuelve clave para viabilizar estos proyectos, permitiendo compatibilizar la integración urbana y arquitectónica con la realidad hidrodinámica del territorio.

Este artículo presenta cuatro experiencias recientes de diseño de parques en cauces naturales – Paseo Mapocho Fluvial, Parque El Sauce, Parque Estero Viña del Mar y Parque Kaukari- donde la modelación hidráulica cumplió un rol estratégico, no solo como herramienta técnica, sino como puente entre disciplinas. A través de modelos unidimensionales (1D), bidimensionales (2D) e incluso tridimensionales (3D), fue posible evaluar riesgos de inundación y socavación, ajustar diseños y proponer medidas que permitan compatibilizar los parques fluviales con los cauces, respetando su dinámica y disminuyendo los impactos asociados. Más que como estudios aislados, los casos se presentan como ejemplos de una práctica emergente: diseñar infraestructura pública en cauces naturales entendiendo la componente hidráulica como un factor de diseño.

---

<sup>1</sup> Ing. Civil, MSc, Riverine SpA- email: gmontserrat@riverine.cl

<sup>2</sup> Ing. Civil, Riverine SpA – email: fnegrete@riverine.cl

<sup>3</sup> Ing. Civil, MSc, Riverine SpA – email: jmoreno@riverine.cl

## 1. INTRODUCCIÓN

En Chile, muchos proyectos recientes han buscado transformar cauces naturales en áreas de encuentro ciudadano, recreación y paisaje, aprovechando espacios fluviales subutilizados. Aunque no se conciben originalmente como obras de control hidráulico, su emplazamiento en zonas inundables obliga a resolver complejidades técnicas vinculadas al comportamiento hidrodinámico del cauce en el que se insertan.

Este tipo de proyectos se enfrenta, por lo tanto, a una doble condición: por un lado, el potencial urbano y social de habilitar e integrar espacios fluviales a la comunidad; por otro, la necesidad de compatibilizar esas aspiraciones con las restricciones impuestas por la dinámica del escurrimiento y su interacción con las obras proyectadas. Tal como plantea Rotger (2018), intervenir cauces urbanos no puede entenderse solo desde la óptica de la defensa hidráulica, sino como un proceso de planificación integrada, donde el curso fluvial es reconocido como una condición del territorio y no como un obstáculo al diseño urbano.

En este escenario, la modelación numérica se configura como una herramienta estratégica: traduce las restricciones hidráulicas en insumos comprensibles para arquitectos, urbanistas y tomadores de decisiones, habilitando soluciones que viabilicen los proyectos y resguarden su seguridad. Desde nuestra experiencia, esta interacción entre arquitectos e ingenieros hidráulicos genera un trabajo interdisciplinario enriquecedor y necesario: mientras los primeros buscan potenciar la calidad del espacio público, los segundos deben garantizar su viabilidad técnica y compatibilidad con el comportamiento del flujo en crecidas. Como destaca Escauriaza (2017), los modelos numéricos son fundamentales para comprender la dinámica fluvial en un amplio rango de escalas espaciales y temporales, y su correcta selección —desde aproximaciones simplificadas hasta simulaciones tridimensionales de alta fidelidad— depende de la naturaleza del problema y de los procesos físicos que lo controlan, buscando siempre el balance entre complejidad, costo computacional y utilidad para la toma de decisiones.

Un ejemplo reciente y ya materializado de este enfoque es el Parque Urbano Isla Cautín, en Temuco, inaugurado en abril de 2022. Este proyecto combina infraestructura hidroecológica y espacio público, integrando restauración fluvial y protección contra inundaciones con actividades recreativas, culturales y deportivas. Su puesta en operación demuestra cómo un parque fluvial bien planificado puede articular objetivos técnicos y sociales, fortaleciendo la resiliencia urbana frente a eventos extremos (Yáñez & Martínez, 2023).

El presente artículo expone cuatro casos de estudio en Chile —Paseo Mapocho Fluvial, Parque El Sauce, Parque Estero Viña del Mar y Parque Kaukari— donde la modelación hidráulica fue decisiva para ajustar diseños, definir umbrales operacionales y proponer medidas de mitigación. Más que presentar estudios aislados, este trabajo busca reflexionar sobre una práctica emergente: diseñar infraestructura pública en cauces naturales desde un enfoque interdisciplinario que integre la dinámica fluvial como parte del diseño urbano.

## 2. CASOS DE ESTUDIO

### 2.1 PASEO MAPOCHO FLUVIAL (REGIÓN METROPOLITANA)

El proyecto Paseo Mapocho Fluvial, también conocido como Mapocho Pedaleable, busca transformar un tramo canalizado del río Mapocho, en pleno centro de Santiago, en un corredor que articule espacios públicos y promueva la movilidad activa manteniendo su función hidráulica principal (Figura 1). Este tramo se extiende por aproximadamente 4,3 km en la ribera sur del río Mapocho, entre el puente La Concepción y el Parque de Los Reyes.

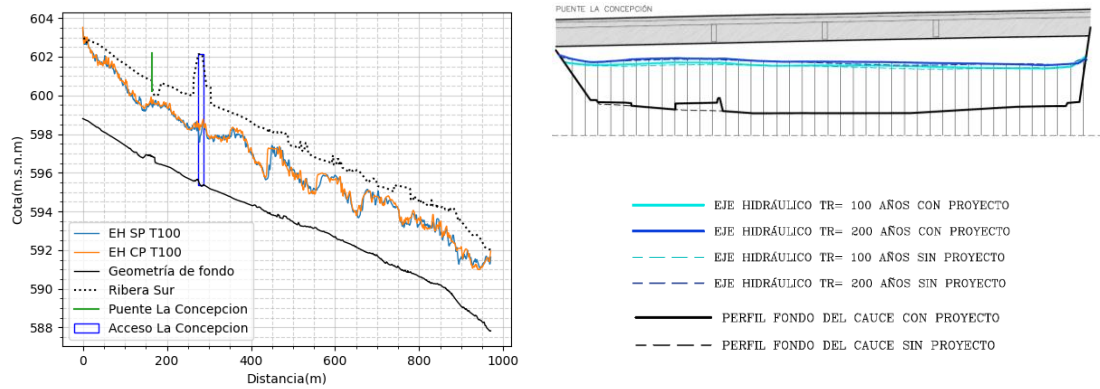


Figura 1 Visualización proyectada del “Mapocho Pedaleable”. Fuente: Panestudio.

Desde el punto de vista hidráulico, el proyecto requirió una combinación de tres tipos de modelación:

- **Modelación 1D (HEC-RAS):** se usó para definir tres caudales operacionales fundamentales para el proyecto:
  - *Caudal máximo de operación de la ciclovía (35 m<sup>3</sup>/s, ~2-5 años de periodo de retorno):* corresponde al máximo caudal que puede escurrir por el Río Mapocho manteniendo el paseo fluvial en funcionamiento, con una revancha mínima de 0,4 m.
  - *Caudal límite de cierre de compuertas (50 m<sup>3</sup>/s, ~2-5 años de periodo de retorno):* umbral a partir del cual se abren las compuertas y el paseo se inunda temporalmente, permitiendo el paso de la crecida.
  - *Caudal de porteo del canalón (2 m<sup>3</sup>/s):* flujo máximo que puede desviarse por el canalón durante labores de mantenimiento o construcción en el cauce.
- **Modelación 2D (IBER):** se empleó para representar con mayor resolución el comportamiento del flujo en crecidas de 100 y 200 años de periodo de retorno (1270 y 1440 m<sup>3</sup>/s, respectivamente), evaluando velocidades y alturas de escurrimiento sobre las áreas intervenidas. Esto permitió identificar zonas potenciales de desbordamiento bajo escenarios sin y con proyecto, verificando que las intervenciones evitan riesgos de inundación adicionales para la crecida centenaria

(Figura 2). Asimismo, se analizó la variación del flujo en la zona de los puentes, lo que resultó poco significativa, confirmando la compatibilidad del diseño con la dinámica fluvial del Río Mapocho.



a) Ribera Izquierda

b) Puente La Concepción

Figura 2 Eje hidráulico en el tramo del Paseo Mapocho Fluvial aledaño al acceso La Concepción. Fuente: *Elaboración Propia*.

- Modelación 3D (OPENFOAM):** se utilizó para analizar localmente los 6 puntos de ingreso a la ciclovía, donde se generan estructuras de flujo tridimensionales por el choque del agua con las paredes de los muros que dan forma a los accesos (Figura 3), evaluando revanchas disponibles y la distribución de velocidades en los accesos y sus alrededores. Esto permitió optimizar el diseño hidráulico de los accesos y proponer ajustes específicos en los coronamientos, así como medidas para mitigar los efectos de ondas cruzadas, recomendando en algunos casos peraltes en la ribera opuesta (Figura 4).

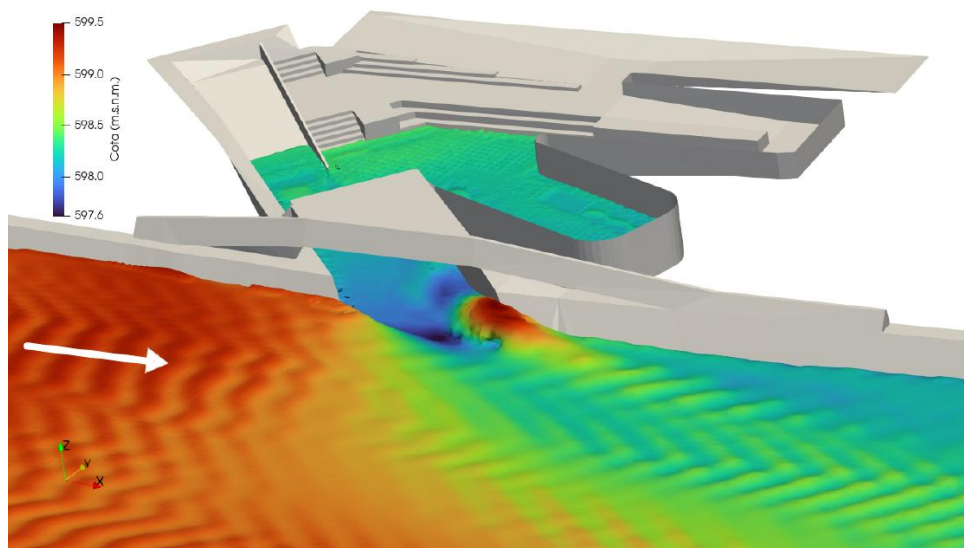


Figura 3 Superficie libre en el acceso La Concepción ( $Q=1270 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $T=100$  años). Fuente: *Elaboración Propia*.

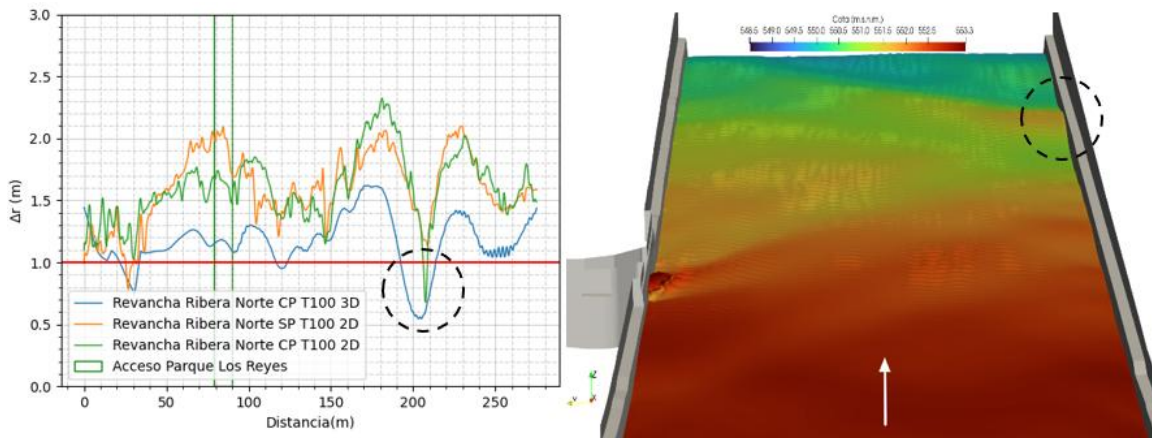


Figura 4 Zona de la ribera norte afectada por la onda generada en el acceso Parque Los Reyes. Se propone un peralte para respetar la revancha ( $\Delta r$ ) mínima de 1 metro. Fuente: *Elaboración Propia.*

Gracias a estas modelaciones, se identificaron varios puentes del sector – Loreto, Patronato, Recoleta, La Paz y Padre Hurtado-, así como tramos en las riberas del Río Mapocho, que presentan una revancha hidráulica insuficiente (menor a 1 metro) frente a la crecida centenaria, independiente de la implementación del proyecto. La identificación de estos sectores con capacidad hidráulica limitada permitió sustentar la recomendación de ejecutar obras complementarias, como el peralte de tajamares en áreas donde la disminución de revancha se atribuía al proyecto, como por ejemplo en la ribera norte frente al acceso Parque Los Reyes, donde la presencia del acceso genera una onda cruzada que reduce la revancha disponible (Figura 4).

La magnitud del peralte se evaluó a partir de los resultados de las simulaciones tridimensionales, las cuales permitieron visualizar y cuantificar la formación de ondas cruzadas asociadas a la incorporación de accesos en las riberas. Este fenómeno produce incrementos localizados en la superficie libre y variaciones en la distribución de velocidades que no pueden ser representadas adecuadamente mediante modelaciones 1D o 2D. En este contexto, la modelación 3D resultó fundamental para complementar los resultados de la modelación 2D, identificar estos efectos en detalle, evaluar su impacto sobre las revanchas - muy limitadas en este caso- y proponer medidas de mitigación, consistentes en peraltes de la ribera.

Por otro lado, las simulaciones 1D y 2D permitieron definir y corroborar los umbrales operacionales del paseo, así como proponer peraltes locales en el muro que separa el cauce del paseo principal. Estos ajustes en el coronamiento del muro buscan asegurar un caudal mínimo de porteo durante labores de mantenimiento o construcción en el cauce, garantizando la viabilidad del canalón (paseo) como infraestructura compartida.

En conjunto, las simulaciones hidráulicas no solo confirmaron la factibilidad del proyecto, sino que también permitieron introducir mejoras concretas al diseño, compatibilizando la propuesta urbana con las restricciones y condiciones del cauce. Este caso demuestra cómo la modelación, aplicada de manera integrada y progresiva, se convierte en una herramienta de

diálogo entre disciplinas, garantizando que los proyectos fluviales urbanos sean técnica y funcionalmente viables.

## 2.2 PARQUE ESTERO VIÑA DEL MAR (REGIÓN DE VALPARAÍSO)

El Parque Fluvial Estero Viña del Mar es un proyecto impulsado por la Ilustre Municipalidad de Viña del Mar con el objeto de rescatar y embellecer un área del estero Viña del Mar (ver Figura 5). En particular, se desea construir un espacio público inundable entre los puentes Libertad y Villanelo, cubriendo un área de 4,17 hectáreas. La intervención considera equipamiento urbano, zonas verdes, mobiliario y conectividad peatonal, todo esto dentro de una sección hidráulica que transporta caudales significativos durante crecidas.



Figura 5 Visualización proyectada del Parque Estero Viña del Mar, Región de Valparaíso.

*Fuente: Ilustre Municipalidad de Viña del Mar.*

Para evaluar su viabilidad y ajustar el diseño a las condiciones del cauce, se desarrolló una modelación unidimensional (1D) con el software HEC-RAS, considerando escenarios con y sin proyecto. Esta modelación permitió estimar alturas y velocidades de escurrimiento, lo que en conjunto permitió determinar niveles de socavación en las estructuras existentes y proyectadas durante eventos de crecida.

Uno de los principales aportes de la modelación fue la evaluación del impacto de los elementos proyectados, y su materialidad, sobre el comportamiento hidráulico del estero. En particular, se identificó que la abundancia de sectores proyectados con césped generaba un aumento de las alturas de escurrimiento, producto del incremento en la rugosidad superficial. A partir de esto, se propusieron cambios en el tipo de superficie para optimizar el comportamiento hidráulico y mejorar la seguridad del diseño. En la Figura 6 se presenta el eje hidráulico resultante en el dominio de estudio, bajo los escenarios con proyecto y sin proyecto, donde se evidencia que la implementación del proyecto no genera aumentos en las alturas de escurrimiento promedio durante la crecida analizada.

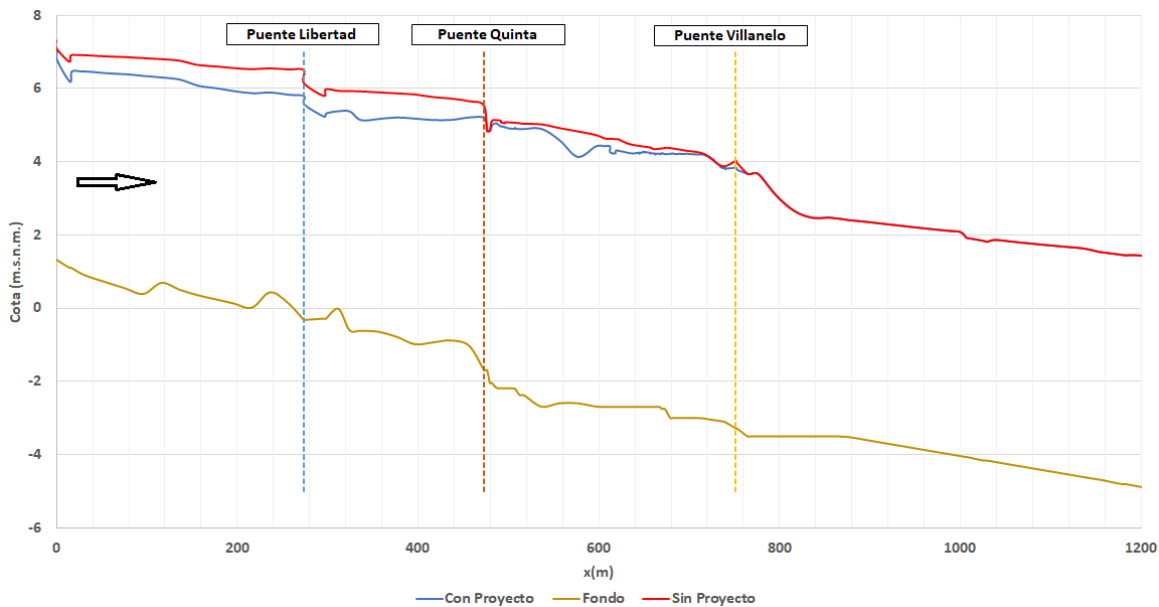


Figura 6 Eje hidráulico en el dominio de modelación del Parque Estero Viña del Mar, en HECRAS 1D. Fuente: *Elaboración Propia*.

Asimismo, la modelación permitió detectar aumentos en la velocidad del flujo producto de la disminución de rugosidad en algunos tramos, lo que incrementaba la socavación en torno a algunos de los puentes existentes en el tramo. Este fenómeno fue especialmente crítico en las inmediaciones de los puentes Libertad, Quinta y Villanelo, donde se estimaron profundidades adicionales de erosión de hasta 1,14 m. En respuesta, se diseñaron obras de protección con enrocados consolidados en base a la metodología HEC-18 (1993), y se realizaron ajustes en la geometría del cauce, incluyendo el angostamiento controlado de la sección en algunos tramos para reducir la altura de lámina en régimen subcrítico.

En paralelo, se recomendó retirar o modificar ciertas estructuras originalmente consideradas en el diseño arquitectónico, ya que interferían significativamente con el escurrimiento. Estas decisiones fueron sustentadas con evidencia técnica derivada directamente del modelo.

En síntesis, la modelación hidráulica no solo validó la factibilidad del proyecto, sino que permitió optimizar el diseño en aspectos clave como la selección de materialidad, la protección de estructuras existentes y el control de socavación, todo ello sin comprometer la funcionalidad urbana y paisajística del parque.

### 2.3 PARQUE KAUKARI (REGIÓN DE ATACAMA)

El Parque Kaukari representa una de las iniciativas más destacadas de habilitación de espacio público en cauces fluviales de zonas áridas del norte de Chile. Emplazado en el lecho del río Copiapó, en el sector poniente de la ciudad homónima, su diseño busca aprovechar una superficie que permanece mayormente seca durante todo el año, integrando usos recreativos, control de crecidas e incorporación urbana en un entorno históricamente expuesto a eventos

extremos como aluviones. El proyecto surge como respuesta a las inundaciones de 2015 y se consolida como un ejemplo de infraestructura verde adaptada a contextos de escasez hídrica y riesgo fluvial intermitente. En la Figura 7 se presenta una imagen aérea del parque Kaukari, capturada con un dron durante los trabajos de topografía asociados al estudio.



Figura 7 Visualización proyectada del Parque Kaukari, Región de Atacama. *Fuente: imagen aérea obtenida con dron.*

Uno de los objetivos fundamentales del estudio fue analizar el riesgo de inundación de los terrenos colindantes al cauce y proponer medidas de mitigación para proteger los proyectos habitacionales proyectados en sus cercanías. Para ello, se desarrollaron simulaciones numéricas con el software HEC-RAS, tanto en modalidad unidimensional (1D) como bidimensional (2D), abarcando un tramo del río Copiapó comprendido entre 300 m aguas abajo de la avenida Diego de Almagro y 600 m aguas abajo del puente Maipú.

Se analizaron ocho escenarios de crecida, que incluyeron flujos líquidos (con lecho fijo y móvil) y un evento aluvional centenario. Los resultados evidenciaron zonas de desborde tanto en badenes como en riberas, en situación actual y con proyecto. En particular, se identificó que los proyectos habitacionales ubicados en sectores como Vergottini podrían verse afectados en escenarios de crecida de 200 años (ver Figura 8), recomendándose elevar los terrenos en al menos 1 metro como medida de protección.

Finalmente, se propusieron dos alternativas de mitigación técnica y económicamente viables, que buscan compatibilizar la seguridad hidráulica con la continuidad del diseño arquitectónico del parque: (1) peraltamiento de muros de gaviones y uso de barreras móviles en badenes e infraestructura crítica, y (2) peraltamiento de muros junto a la modificación geométrica de calzadas en badenes.

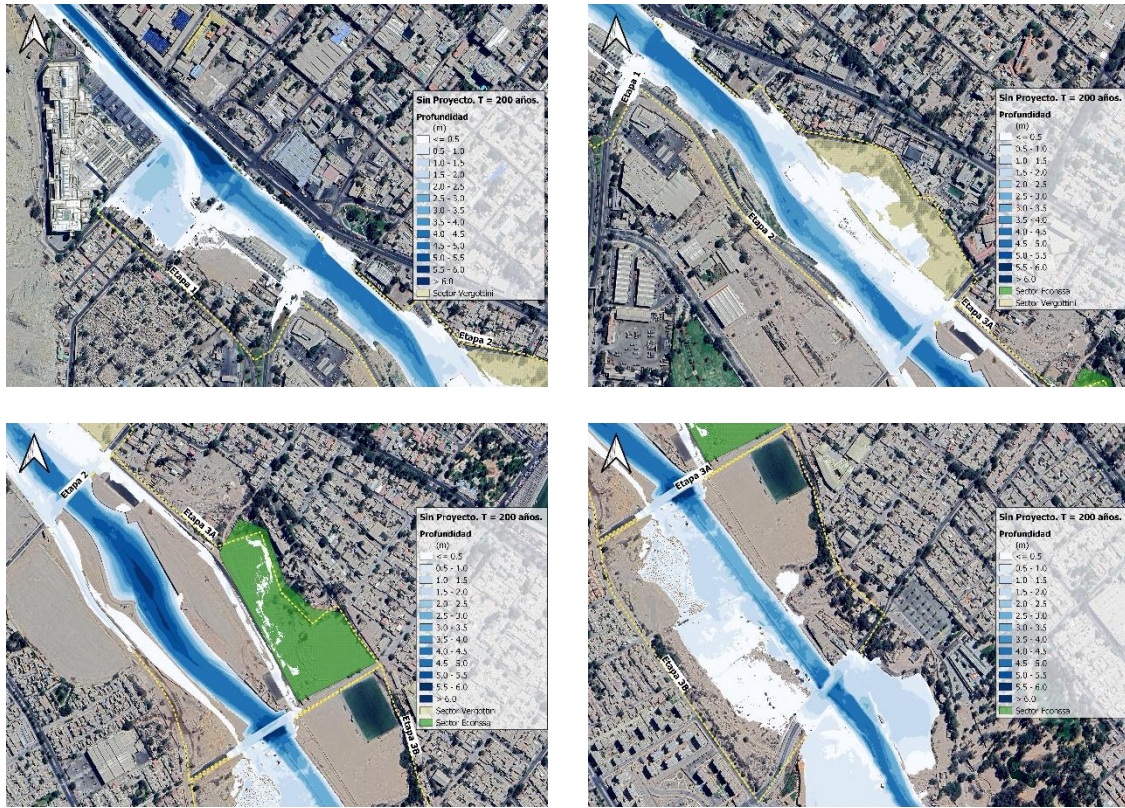


Figura 8 Resultados modelación hidráulica en HEC-RAS 2D de la crecida de T=200 años para cada tramo del parque Kaukari, Copiapó. Fuente: *Elaboración Propia*.

Este caso evidencia cómo la modelación hidráulica, integrada desde etapas tempranas del diseño, permite no solo validar la funcionalidad del parque frente a crecidas, sino también orientar decisiones estratégicas para proteger desarrollos urbanos colindantes sin sacrificar la calidad espacial del proyecto.

## 2.4 PARQUE EL SAUCE (REGIÓN DE COQUIMBO)

El Parque El Sauce se proyecta en el sector urbano denominado Parcela 10 de Rinconada del Sauce frente a la bahía de la Herradura, cercano al límite entre la zona urbana y rural. El proyecto no solo busca habilitar espacio público en una interfaz rural-urbana, sino también cumplir un rol activo en la gestión de inundaciones ya que el sector Rinconada del Sauce cuenta con una red de evacuación de aguas lluvias.



Figura 9 Visualización proyectada del Parque El Sauce, Coquimbo. *Fuente: CAW Arquitectos.*

En este caso, la modelación hidráulica bidimensional (2D), desarrollada con el software HEC-RAS, fue clave para orientar el diseño de las obras. Las simulaciones permitieron caracterizar el comportamiento del escurrimiento superficial bajo distintos escenarios de crecida —hasta 100 años de periodo de retorno— y verificar la efectividad de las soluciones propuestas. Esto incluyó tanto la validación hidráulica de las obras de encauzamiento como el diseño específico de estructuras de retención para crecidas menores (ver Figura 10).

Uno de los principales aportes de la modelación fue definir el volumen requerido de almacenamiento para contener las crecidas frecuentes hasta un periodo de retorno de 5 años. A partir de ello, se diseñaron seis anfiteatros con capacidad para contener hasta 6.300 m<sup>3</sup>, los cuales cumplen un doble rol: funcionalidad hidráulica y activación del espacio público. Además, las simulaciones permitieron verificar la capacidad hidráulica de obras de arte como alcantarillas y canales, así como determinar la socavación en torno a estructuras proyectadas.

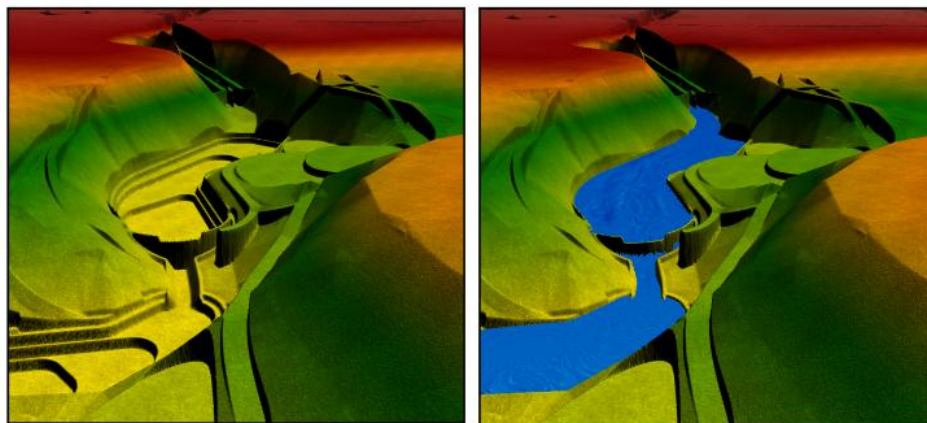


Figura 10 Visualización de parte de la modelación hidráulica en el sector del parque junto al modelo de elevación de terreno utilizado. *Fuente: Elaboración Propia.*

Los resultados indicaron que, sin proyecto, la Parcela 10 se inunda incluso para eventos de 2 años de periodo de retorno. Con el diseño propuesto, validado hidráulicamente, esta área

queda protegida incluso ante eventos de 100 años, y se mitigan las inundaciones recurrentes en la comunidad de Rinconada del Sauce (Figura 11).

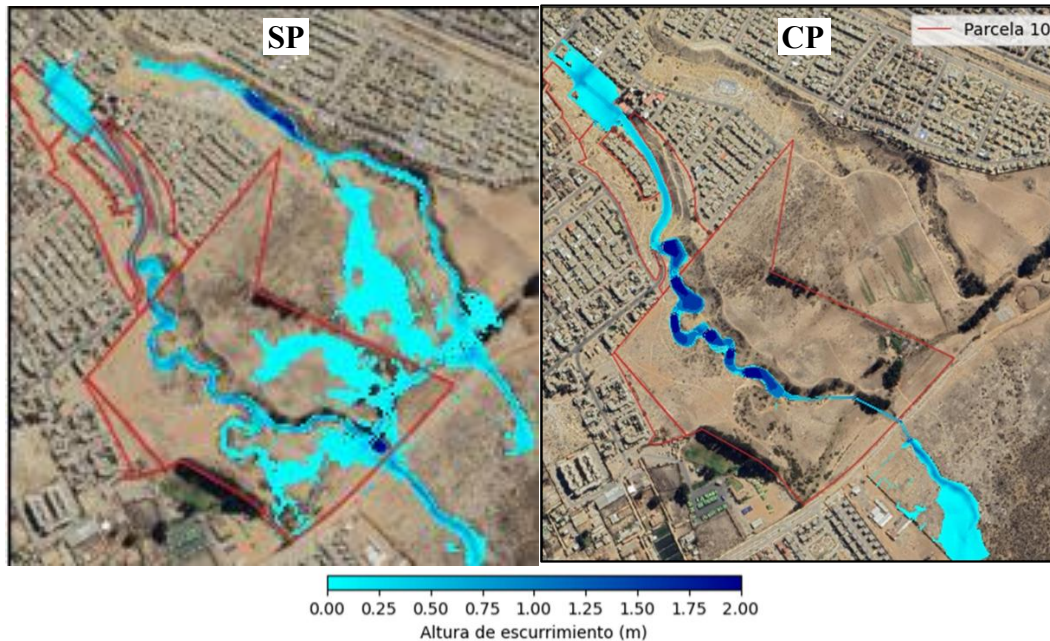


Figura 11 Área de inundación para la crecida de 100 años de periodo de retorno en la situación sin y con proyecto. *Fuente: Elaboración Propia.*

Este caso demuestra cómo la modelación hidráulica no solo permite dimensionar soluciones de control de crecidas, sino que permite tomar decisiones de diseño que refuerzan la seguridad, la funcionalidad y la integración urbana de los parques proyectados en torno a cauces naturales.

### 3. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en los cuatro casos analizados —Mapocho Fluvial, El Sauce, Estero Viña del Mar y Parque Kaukari— confirman que es posible transformar cauces naturales en espacios públicos seguros, funcionales y de alto valor social, siempre que se reconozca y se integre desde el inicio la doble condición que enfrentan estos proyectos: aprovechar el potencial urbano y paisajístico del río, y al mismo tiempo manejar los riesgos derivados de la componente hidráulica.

La modelación hidráulica ha sido fundamental en esta integración. Permite anticipar cómo se comportará el cauce en eventos extremos, ajustar los diseños y proponer medidas de mitigación adecuadas. Además, entrega una base objetiva que facilita la coordinación entre las distintas disciplinas involucradas. En específico, para obras complejas y puntuales, la modelación 3D es una herramienta útil para diagnosticar el comportamiento hidrodinámico del escurrimiento en las fases de diseño del proyecto.

En la Tabla 1 se presenta una síntesis comparativa de los cuatro casos analizados, incluyendo sus condiciones de diseño, el tipo de modelación empleada, las soluciones propuestas y el rol específico que jugó la modelación hidráulica en cada uno.

Tabla 1 Síntesis comparativa de condiciones de diseño, modelación y soluciones en los casos de estudio.

<b>Proyecto</b>	<b>Región</b>	<b>Tipo de Modelación</b>	<b>Condiciones de Diseño Relevantes</b>	<b>Soluciones Propuestas</b>	<b>Rol de la Modelación</b>
Paseo Mapocho Fluvial	Metropolitana	1D (HEC-RAS), 2D (IBER), 3D (OpenFOAM)	Accesos al paseo urbano.	Peraltes locales, optimización de accesos	Definición de caudales operacionales. Verificación de revanchas.
Parque Estero Viña del Mar	Valparaíso	1D (HEC-RAS)	Estructuras y equipamiento en cauce principal. Socavación en puentes existentes	Cambio de materialidad y geometría de obras proyectadas. Protección de cepas de puentes existentes.	Propuesta de ajustes de diseño.
Parque Kaukari	Atacama	1D y 2D (HEC-RAS)	Emplazamiento de proyecto habitacional colindante al parque. Antecedente de eventos aluvionales.	Peraltamiento de riberas y terreno de proyecto habitacional. Modificación de badenes y barreras móviles.	Evaluación de riesgo de inundación.
Parque El Sauce	Coquimbo	2D (HEC-RAS)	Control de áreas de inundación.	Anfiteatros de retención. Validación de obras de encauzamiento	Diseño de volumen de retención, validación hidráulica de infraestructura.

Finalmente, entre los principales aprendizajes, destaca la importancia de validar tempranamente los diseños en cauces mediante modelación hidráulica, lo que permitió anticipar riesgos y definir obras compatibles con el comportamiento hidrodinámico de los ríos y esteros. También se evidenció el valor de la colaboración interdisciplinaria, donde la modelación actuó como lenguaje común entre ingenieros y diseñadores, favoreciendo decisiones conjuntas. En todos los casos, la integración de criterios hidráulicos desde etapas tempranas facilitó el ajuste de obras proyectadas, la elección de materialidades y la definición de soluciones técnicas, sin modificar de manera significativa la propuesta arquitectónica original.

## REFERENCIAS

**Escauriaza, C.** (2017). Modelos de flujo, transporte de sedimentos y morfodinámica en ríos. *XXIII Congreso Chileno de Ingeniería Hidráulica*, Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica, Valdivia, Chile, 25–27 de octubre de 2017.

**Centro de Cambio Global UC & The Nature Conservancy.** (2022). *Soluciones basadas en la naturaleza para la adaptación al cambio climático: Lineamientos para su implementación en Chile*. Santiago, Chile.

**Rotger, D. V.** (2018). Mitigación del riesgo de inundación a partir de la planificación del paisaje. Caso: Arroyo del Gato, Gran La Plata. *Urbano*, 21(37), 52–67.

**Yáñez, S., & Martínez, P.** (2023). Parque Urbano Isla Cautín, Temuco: infraestructura hidroecológica para la resiliencia urbana. *Revista de Arquitectura (Chile)*, 28(41), 52–67.