

## BUENOS AIRES PLAYA. DISEÑO PARAMÉTRICO DE DEFENSA COSTERA

Esp. Ing. Caballero, Mehdí<sup>a</sup>; Ing. Colella Pagella, Facundo<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*RAMÉ ingeniería*, [mcaballero@rameingenieria.com](mailto:mcaballero@rameingenieria.com)

<sup>b</sup>*RAMÉ ingeniería*, [fcoellapagella@rameingenieria.com](mailto:fcoellapagella@rameingenieria.com)

**Palabras clave:** Ingeniería Costera, Diseño Paramétrico, Optimización Estructural.

### RESUMEN

El proyecto del Parque Costero “Buenos Aires Playa”, en Buenos Aires, Argentina, presentó desafíos significativos asociados a infraestructura ribereña en suelos de baja capacidad portante. El trabajo se centró en desarrollar una metodología integrada que combinara análisis paramétrico, modelado BIM y evaluación geotécnica para optimizar la defensa costera y su superestructura.

Se implementó un modelo paramétrico en Python para comparar distintas configuraciones de fundación y estructura, evaluando alternativas en términos de eficiencia estructural y uso de materiales. En paralelo, el modelado BIM permitió resolver geometrías complejas, como trazas curvas y rampas variables, asegurando coherencia entre cálculo y documentación.

El análisis de interacción suelo–estructura resultó clave para redefinir la solución de fundación inicial, mejorando la estabilidad y la seguridad constructiva. Asimismo, se optimizó la estrategia ejecutiva mediante soluciones prefabricadas adaptadas al entorno costero.

La integración de herramientas paramétricas, análisis geotécnico y modelado BIM permitió un diseño más eficiente, seguro y coordinado, consolidando un enfoque contemporáneo para infraestructura costera.

### ABSTRACT

The “Buenos Aires Playa” Coastal Park project in Buenos Aires, Argentina, involved significant challenges related to waterfront infrastructure on low bearing capacity soils. The study developed an integrated methodology combining parametric analysis, BIM modeling, and geotechnical evaluation to optimize the coastal defense system and its superstructure.

A Python-based parametric model was used to compare alternative foundation and structural configurations, assessing structural efficiency and material consumption. In parallel, BIM modeling tools resolved complex geometries, including curved layouts and variable ramps, ensuring consistency between analysis and documentation.

Soil–structure interaction analyses were decisive in redefining the original foundation concept, improving global stability and construction safety. The construction strategy was also optimized through prefabricated solutions suited to the coastal environment.

The integration of parametric tools, geotechnical analysis, and BIM modeling enabled a safer, more efficient, and better-coordinated design process, reflecting a contemporary approach to coastal infrastructure.

## INTRODUCCIÓN

El Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires impulsa *BA Costa*, un plan integral para recuperar e integrar los 25 km de borde costero del Río de la Plata. En este marco, se desarrolla el proyecto *Parque Costero Buenos Aires Playa*, un parque público de 3 hectáreas con diseño de playa urbana ubicado en la península del Parque del Vega, en el barrio de Belgrano.

El parque contará con áreas recreativas, muelle para pescadores, juegos de agua y espacios de descanso, con capacidad para recibir hasta 6.000 visitantes. El elemento central es una defensa costera de hormigón escalonada de 500 m de longitud, que permitirá un acceso gradual al río y, a la vez, funcionará como paseo para peatones y ciclistas.

Este artículo se centra en los desafíos de diseño y construcción de dicha defensa costera, presentando la metodología aplicada para su concepción estructural y la toma de decisiones clave que garantizaron la seguridad y viabilidad de la obra.

## DESAFÍOS DEL PROYECTO

El desarrollo del Parque Costero presentó una serie de desafíos técnicos propios de su emplazamiento y escala. En primer lugar, el relleno de suelo ganado al río ofrecía una capacidad portante muy reducida, con riesgo de asentamientos a lo largo del tiempo y limitaciones importantes para ejecutar fundaciones superficiales o excavaciones profundas.

La defensa costera debía cumplir un doble rol: contener un relleno de 3 metros de altura y, al mismo tiempo, resistir la acción del oleaje. A ello se sumaba la necesidad de integrar rampas y escalinatas que permitieran un acercamiento gradual al agua, lo que implicaba resolver geometrías curvas en planta y tramos variables en altura.

Otro punto crítico fue el diseño del camino de sirga, una estructura lineal que debía soportar tanto el empuje del terreno como las sollicitaciones hidrodinámicas, mientras que la pasarela pescante de 70 metros de extensión planteaba riesgos adicionales frente a tormentas y crecidas, en especial durante las etapas de hormigonado.



*Figura 1: Anteproyecto del parque costero.*

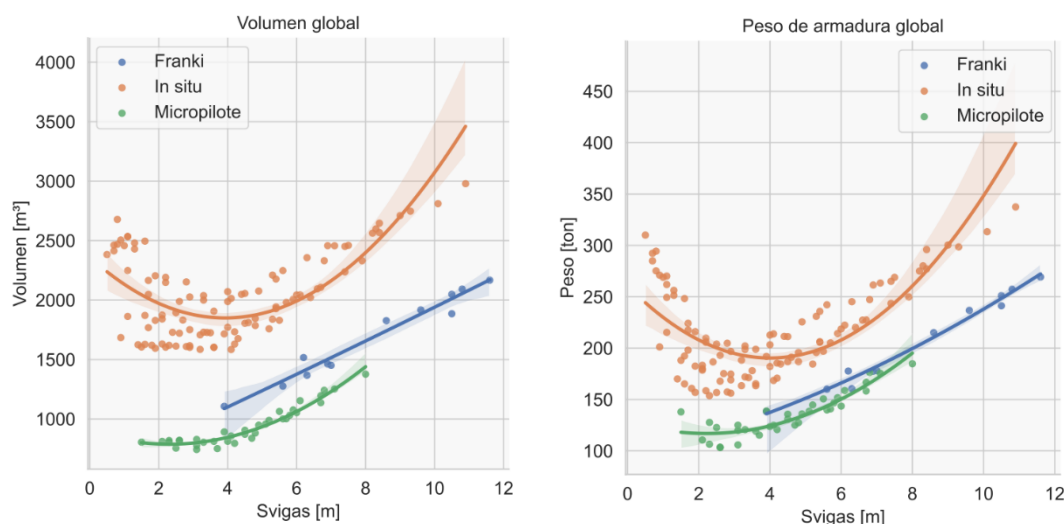
La magnitud lineal de la obra, de aproximadamente 500 metros, obligó además a considerar cuidadosamente los efectos de retracción y gradientes de temperatura en el hormigón. A lo largo de la ejecución, la obra se enfrentó a crecidas del Río de la Plata y temporales de gran intensidad, lo que reforzó la conveniencia de planificar métodos constructivos en seco.

Finalmente, los cambios y ajustes en el proyecto durante su desarrollo demandaron una alta flexibilidad en el diseño y en la documentación, para responder en tiempo y forma a las condiciones cambiantes del sitio y de la obra.

## SELECCIÓN DE SOLUCIÓN ESTRUCTURAL

### Escalinatas y rampas

La defensa costera de 500 m de longitud debía resolverse con un sistema de pilotes, vigas y losas capaz de contener el relleno y conformar las rampas y escalinatas de acceso al río. Dada la magnitud de la obra, la elección estructural tenía un impacto decisivo en el costo y en la constructibilidad. Se desarrolló un análisis paramétrico que evaluó más de 150 configuraciones de pilotes de distintos tipos, diámetros y separaciones, considerando el consumo global de hormigón y acero, así como la eficiencia estructural. El estudio mostró que los micropilotes resultaban la alternativa más conveniente, al minimizar el volumen de hormigón y el peso de armadura respecto de otras soluciones como pilotes hormigonados in situ o tipo Franki. En consecuencia, se definió un sistema de losa-viga-pilote fundado en micropilotes, optimizado en su modulación para equilibrar economía, resistencia y facilidad constructiva.



*Figura 2: Variación del volumen global (m³) total del análisis paramétrico de infraestructura y superestructura en conjunto (izq.) y variación de toneladas de acero total (der.) en función de la separación de vigas y por cada tipo de pilote.*

La solución seleccionada es la de vigas de 40x40 separadas cada 3.70 m, con micropilotes de 30 cm de diámetro separados cada 5 m y una losa de 15 cm de espesor entre las vigas.

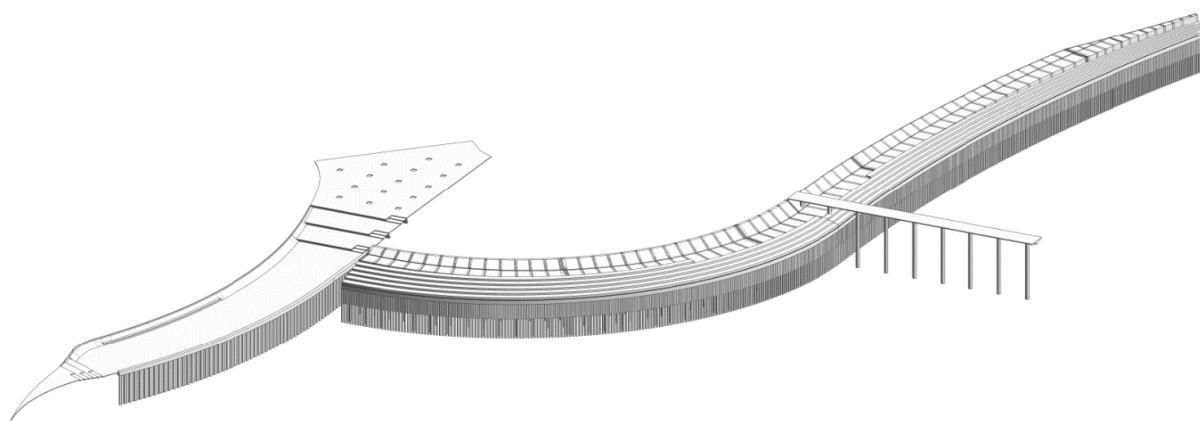
## Defensa costera

Para posibilitar la construcción en seco, se proyectó una ataguía de altura intermedia, definida tras un análisis económico que mostró más conveniente aceptar demoras puntuales por eventuales superaciones del río que ejecutar una ataguía más alta con mayor tiempo y costo. El análisis mediante MEF del suelo de excavación descartó la factibilidad de una defensa in situ con zapata corrida, dado que las condiciones de estabilidad no eran seguras. Como alternativa se adoptó una pantalla de pilotes secantes de hormigón armado, donde los pilotes estructurales se dispusieron alternadamente con pilotes de hormigón simple que actúan únicamente como elemento de contención del relleno. De este modo se redujo el volumen de excavación y se mejoró la seguridad del proceso constructivo. Debido a la limitada resistencia a la flexión de los micropilotes con tubing, la primera fila se ejecutó con pilotes de 60 cm de diámetro, lo que permitió aumentar la cantidad de armadura y minimizar la flexión en los micropilotes.

En el sector del camino de sirga, con el objetivo de acelerar la ejecución y permitir frentes de trabajo simultáneos, se implementó una pantalla de tablestacas anclada a un muerto de hormigón armado. El sistema se completa con una viga de coronamiento que distribuye los esfuerzos y asegura el comportamiento conjunto de la defensa.

## Pasarela pescante

En el caso de la pasarela peatonal se analizaron soluciones con pila y cabezal fundado en micropilotes, junto con tablero in situ. Sin embargo, la necesidad de excavaciones profundas y ataguías extensas, sumado al riesgo de inestabilidad y a la exposición prolongada a crecidas o tormentas durante el hormigonado, hacían poco viable esta alternativa. Por ello se optó por una pila pilote encamisada, que elimina excavaciones y se ejecuta íntegramente sobre el relleno de la ataguía. El tablero se resolvió mediante losetas prefabricadas aligeradas apoyados en vigas en voladizo sobre cada pila, lo que permitió prescindir de encofrados y apuntalamientos. La pasarela se independizó de la defensa costera mediante una junta de dilatación en el encuentro con la viga cargadero, garantizando así un comportamiento estructural autónomo y seguro.



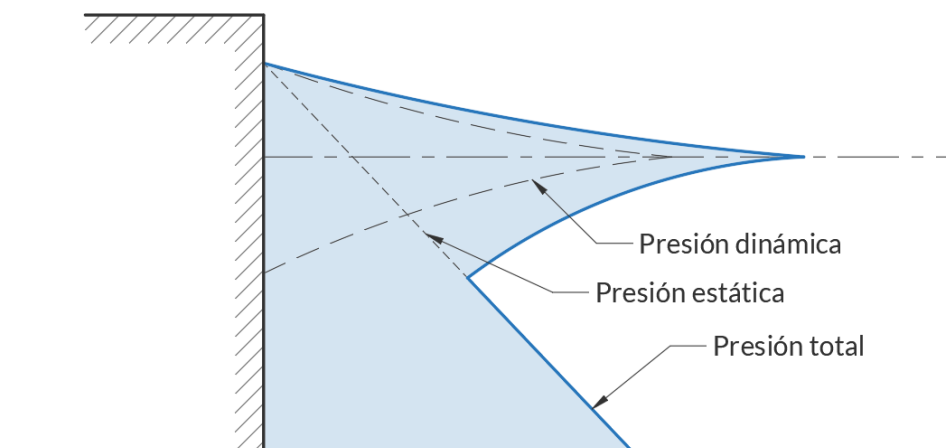
*Figura 3: Solución de defensa costera de hormigón armado (der.) y del camino de sirga con tablestacas (izq.).*

## DISEÑO DE DEFENSA COSTERA Y PASARELA PESCANTE

### Acciones consideradas

Para el dimensionamiento de la defensa costera y de la pasarela peatonal se tuvieron en cuenta las siguientes acciones:

- Cargas gravitatorias permanentes: peso propio de los elementos de hormigón (escalones sobre losa, pavimento sobre rampas y escalones), según (INTI-CIR-SOC 2005a).
- Sobrecarga de uso: correspondiente a la ocupación de los espacios libres, de acuerdo con INTI-CIRSOC (2005a). También para el diseño de la pasarela se utilizó la AASHTO (2009).
- Empuje del relleno: calculado mediante la teoría de Rankine.
- Acción del viento: sobre la defensa y la pasarela, evaluada conforme INTI-CIR-SOC (2005b).
- Subpresión de agua: debida a la crecida máxima del río, actuando bajo la defensa.
- Efectos diferidos y de temperatura: debido a la longitud total de la pasarela, se dispusieron juntas de dilatación que dividen la defensa en supertramos de 50–60 m. En cada tramo se consideraron los efectos de retracción y variaciones térmicas.
- Acción del oleaje: el empuje hidrodinámico de las olas sobre la defensa se descompone en una componente estática y otra dinámica.
  - Normativamente, la ASCE/SEI (2017) (vigente en la etapa de proyecto) establece un procedimiento simplificado para estimar la presión de olas sobre paredes verticales.
  - No obstante, se adoptó el método de Goda (1970), recomendado en el U.S. Army Corps of Engineers (2002) y adaptado en la ASCE/SEI (2022), por su mayor rigor experimental y por evitar las discontinuidades que presentan otros métodos en función de si la ola rompe o no contra la estructura. Con este método se definió la presión total de diseño a considerar.



*Figura 4: Diagrama de presión de oleaje.*

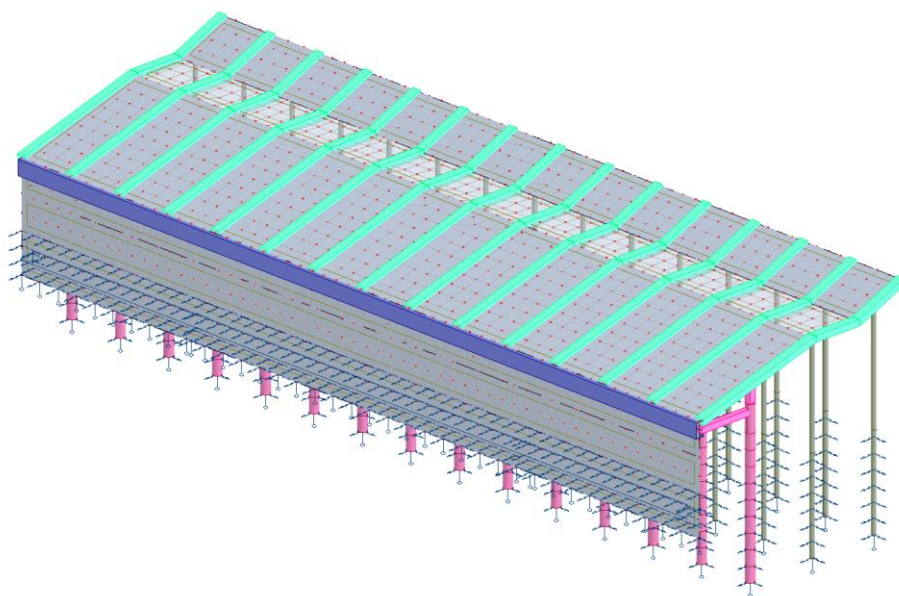
## Modelos de cálculo

Se elaboró un modelo de elementos finitos con interacción suelo–estructura para el diseño de pilotes, micropilotes, viga y losa. Dada la magnitud de los empujes de oleaje, se incorporó una viga cabezal y un pilote de mayor diámetro para lograr una mejor distribución de los esfuerzos en la defensa costera. El análisis se realizó sobre un supertramo representativo de 50 m de longitud, considerando todas las acciones definidas previamente.

La rigidez del suelo se representó mediante resortes horizontales obtenidos con la fórmula de Meyerhof y parámetros provenientes del estudio geotécnico. Se adoptó como condición de cálculo la hipótesis de suelo lavado hasta el nivel del lecho del río, sin considerar relleno, a efectos de seguridad. Esto permite evaluar un escenario más desfavorable de flexión en pilotes, correspondiente a una eventual pérdida de material por socavación durante tormentas severas.

La pantalla de tablestacas se modeló con resortes lineales en la zona de empotramiento y con un anclaje superior. Se emplearon tablestacas de acero corten de 10 mm de espesor, vinculadas a un muerto de anclaje conformado por una viga continua detrás de la cuña de falla, garantizando resistencia adecuada mediante empuje pasivo a lo largo de toda la pantalla.

La pasarela se representó mediante un modelo de barras con interacción suelo–estructura en las pilas pilote. Sobre el nivel del relleno se incluyeron acciones de viento y empuje de agua, así como efectos de retracción, temperatura y sobrecarga descompensada, producto de la configuración en doble voladizo. Se analizaron los modos de vibración para asegurar estar alejados de los mínimos de percepción de las personas. Los resortes lineales fueron calibrados con un modelo MEF realizado por un especialista geotécnico.



*Figura 5: Modelo 3D de elementos finitos de la defensa, con losa, vigas, micropilotes, pilote continuo y pantalla de pilotes.*

## MODELADO PARAMÉTRICO Y COORDINACIÓN BIM

Dada la complejidad geométrica de la defensa costera, se adoptó un enfoque de modelado paramétrico como única metodología viable para resolver el diseño y la documentación del proyecto. Los métodos tradicionales de modelado manual hubieran resultado inviables debido a la geometría curva, las variaciones en pendiente y la necesidad de múltiples adaptaciones locales.

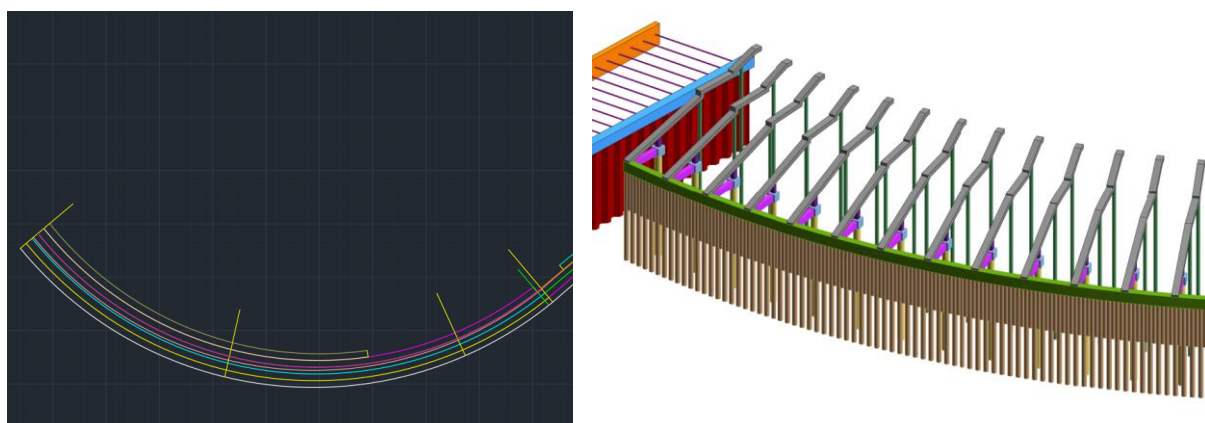
El modelo paramétrico se desarrolló a partir de las líneas de control provenientes del perfil de la defensa y del camino de sirga en DWG, permitiendo generar automáticamente todos los elementos estructurales:

- Pantalla de pilotes siguiendo la doble curvatura en planta.
- Micropilotes radiales ubicados de forma perpendicular a la curva, con las separaciones definidas por el modelo conceptual de análisis.
- Vigas y losas escalonadas, ajustándose a la pendiente y al espacio disponible en cada eje radial, incluyendo la adaptación automática de la rampa.
- Juntas de dilatación, que exigían duplicar vigas y pilotes en sus extremos, incorporadas en la lógica del modelo paramétrico.

De esta manera, toda la geometría de la defensa se generó a partir de un script programado en función de parámetros de diseño y la curva base importada desde DWG, lo que permitió actualizar la documentación en BIM en forma automática frente a los cambios de proyecto, reduciendo tiempos y minimizando errores.

Para la pantalla de tablestacas se empleó la misma metodología: a partir de la trayectoria curva en planta se modeló toda la pantalla, sus anclajes y la viga de anclaje paralela a la pantalla.

El modelo paramétrico permitió además extraer directamente del BIM todas las coordenadas de los pilotes, las secciones de vigas y el cómputo de hormigón armado, evitando un trabajo manual que hubiera sido muy extenso y altamente propenso a errores.



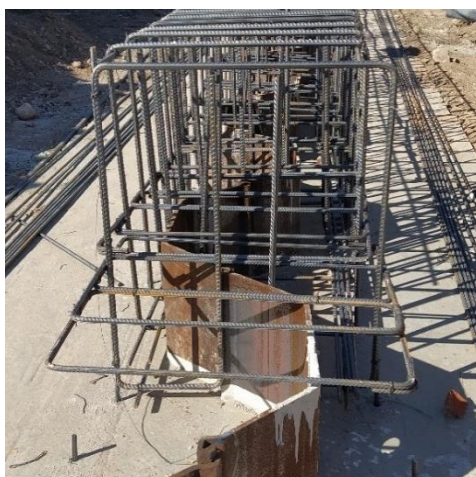
*Figura 6: Input de entrada del script en DWG (izq.) y resultado del modelado paramétrico (der.) en 3D.*

## MÉTODOS CONSTRUCTIVOS

En este proyecto el método constructivo dejó de ser una consecuencia del diseño estructural para convertirse en una variable de diseño desde las primeras etapas del proyecto.

La definición de los métodos constructivos respondió principalmente a la necesidad de celeridad en la ejecución y a la exposición de la obra a tormentas severas y crecidas del río, lo que obligaba a minimizar riesgos y asegurar el trabajo en seco.

- Atagüía de relleno: se ejecutó a lo largo de toda la defensa costera y la pasarela, permitiendo excavar y trabajar en seco. Además, sirvió como camino de tránsito para camiones y maquinaria pilotera.
- Micropilotes con tubbing: solución adoptada para acelerar la producción diaria, evitando tiempos de armado y garantizando resistencia a tracción mediante el tubo metálico anclado a la viga de la defensa.
- Pantalla de pilotes: ejecutada con viga de definición para asegurar la alineación. Se alternaban pilotes “ciegos” sin armadura y pilotes estructurales armados, conformando el sistema de defensa.
- Pantalla de tablestacas: permitió habilitar frentes de trabajo simultáneos con distintos equipos. Se completó con viga de coronamiento para garantizar el comportamiento conjunto y la redundancia estructural frente a posibles fallas de anclajes o tablestacas individuales. Los anclajes se resolvieron con barras Ø32 en vaina de PVC, inyectadas con grout.
- Pasarela pescante: resuelta mediante pilas-pilote encamisadas en tubos de acero de 90 cm de diámetro, sobre las cuales se apoyaron tableros de losetas prefabricadas pretensadas. Se evitó así la ejecución de cabezales y el uso de apuntalamiento, reduciendo el riesgo de colapso ante tormentas.



*Figura 7: Imágenes de la construcción de tablestacas con viga de coronamiento (izq.); defensa costera de losa sobre vigas (der.).*



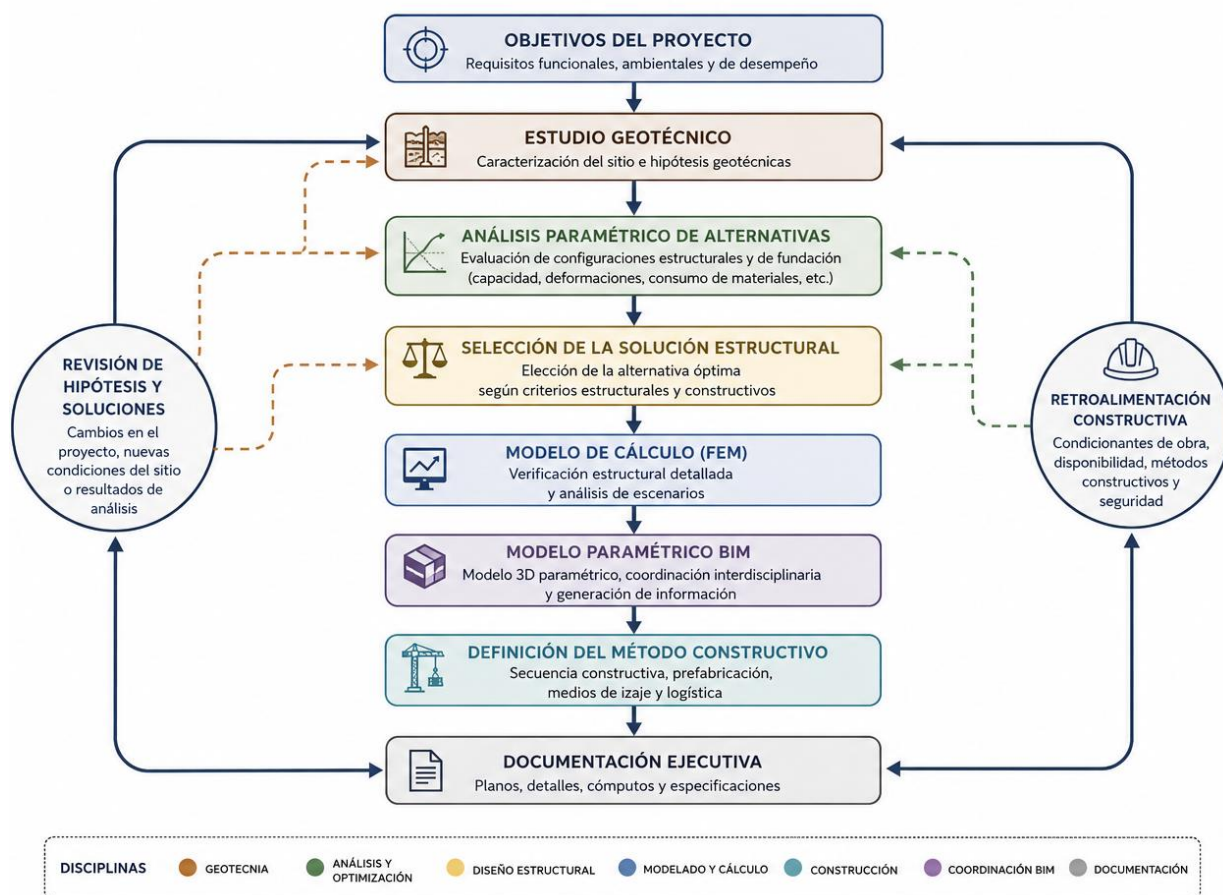
*Figura 8: Pasarela pescante con pilas encamisadas, vigas en voladizo y tablero de losetas prefabricadas (izq.); ejecución de pilotes y micropilotes de la defensa (der.).*

## INTEGRACIÓN DEL PROCESO DE INGENIERÍA

El desarrollo del proyecto no respondió a una secuencia lineal de cálculo, documentación y construcción, sino a un proceso iterativo en el que el análisis estructural, la evaluación geotécnica, el modelado paramétrico y la planificación constructiva evolucionaron de manera integrada. Las decisiones adoptadas en cada disciplina modificaban continuamente a las restantes, requiriendo revisar y optimizar la solución en sucesivas etapas del proyecto.

Como parte de este proceso, el modelo paramétrico permitía generar en forma automática esquemas preliminares de cada alternativa estructural, junto con cálculos aproximados de hormigón, acero y cantidad de pilotes. Esta información era utilizada para comparar costos, plazos de ejecución y factibilidad constructiva de las distintas soluciones en conjunto con la empresa constructora, orientando la selección de la alternativa más conveniente antes de avanzar con el desarrollo detallado del proyecto. Cuando surgían cambios en las hipótesis de cálculo, condicionantes geotécnicos o requerimientos constructivos, el proceso podía repetirse rápidamente, actualizando tanto la evaluación técnica como la documentación asociada.

Este enfoque permitió evaluar rápidamente alternativas estructurales y constructivas, incorporando cambios de geometría y ajustes de proyecto sin perder consistencia entre los modelos de cálculo y la documentación BIM. Como resultado, la ingeniería dejó de ser un conjunto de tareas independientes para convertirse en un proceso coordinado de toma de decisiones, donde la optimización de la estructura, la constructibilidad y la eficiencia del proyecto fueron consideradas simultáneamente.



*Figura 9: Proceso integrado e iterativo de ingeniería aplicado al desarrollo del proyecto.*

## CONCLUSIONES

El proyecto demostró que, en obras de infraestructura costera, la solución estructural no puede definirse de manera aislada. La interacción entre la ingeniería estructural, la geotecnia, los métodos constructivos y el modelado paramétrico permitió evaluar alternativas de forma integral y seleccionar soluciones que equilibraron seguridad, eficiencia estructural y viabilidad de ejecución.

El análisis paramétrico constituyó una herramienta de apoyo para la toma de decisiones durante las etapas de diseño, mientras que el modelado BIM permitió mantener la coherencia entre el cálculo, la documentación y las modificaciones del proyecto. Esta integración facilitó la resolución de una geometría compleja y redujo el impacto de los cambios propios del desarrollo de una obra de estas características.

La experiencia obtenida confirma que los proyectos de infraestructura en entornos costeros se benefician de un enfoque multidisciplinario desde las etapas iniciales de diseño, donde la optimización estructural, la constructibilidad y la coordinación digital forman parte de un mismo proceso de ingeniería.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO. 2009. *LRFD Guide Specifications for the Design of Pedestrian Bridges*. Washington, DC, USA.
- ASCE/SEI. 2017. *Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures*. American Society of Civil Engineers.
- ASCE/SEI. 2022. *Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures: provisions*. American Society of Civil Engineers.
- Goda, Y. 1970. "A SYNTHESIS OF BREAKER INDICES." *Proceedings of the Japan Society of Civil Engineers*, 1970 (180): 39–49. Japan Society of Civil Engineers.  
[https://doi.org/10.2208/JSCEJ1969.1970.180\\_39](https://doi.org/10.2208/JSCEJ1969.1970.180_39).
- INTI-CIRSOC. 2005a. *Reglamento argentino de acciones en las estructuras. CIRSOC 101-2005*. Buenos Aires, Argentina.
- INTI-CIRSOC. 2005b. *Reglamento argentino de acción del viento sobre las construcciones. CIRSOC 102-2005*.
- U.S. Army Corps of Engineers. 2002. *Coastal Engineering Manual (CEM)*. Washington, DC, USA.