

XXX CLH

CONGRESO LATINOAMERICANO
DE HIDRAULICA | BRASIL | 2022

ANALES

- VOLÚMEN 5 -

INGENIERÍA E INFRAESTRUCTURAS HIDRÁULICAS



International Association
for Hydro-Environment
Engineering and Research

Hosted by
Spain Water and IWHR, China

Organizadores

Dr. Cristiano Poletto - UFRGS (Presidente)
Dr. José Gilberto Dalfré Filho - UNICAMP
Dr. André Luís Sotero Salustiano Martim - UNICAMP

**ANALES DEL
XXX CONGRESO LATINOAMERICANO DE
HIDRÁULICA 2022**

**- VOLÚMEN 5 -
INGENIERÍA E INFRAESTRUCTURAS HIDRÁULICAS**



Madrid – España
2023

Copyright © 2023, by IAHR Publishing.

Derechos Reservados en 2023 por **IAHR Publishing.**

Montaje: Cristiano Poletto

Organización General de la Obra: Cristiano Poletto; José Gilberto Dalfré Filho;
André Luís Sotero Salustiano Martim

Maquetación: Juliane Fagotti; Cícero Manz Fagotti

Relectura General: Elissandro Voigt Beier

Portada: Juliane Fagotti

Cristiano Poletto; José Gilberto Dalfré Filho; André Luís Sotero Salustiano Martim
(Organizadores)

ANALES del XXX Congreso Latinoamericano de Hidráulica – VOLÚMEN 5 – INGENIERÍA
E INFRAESTRUCTURAS HIDRÁULICAS/ Organizadores: Cristiano Poletto; José Gilberto
Dalfré Filho; André Luís Sotero Salustiano Martim – MADRI, España: IAHR Publishing,
2023.

555p.: il.;

ISBN • 978-90-832612-6-3

*ES AUTORIZADA la libre reproducción, total o parcial, por cualquier medio, sin
autorización escrita del Editor o de los Organizadores.*

REALIZACIÓN



International Association
for Hydro-Environment
Engineering and Research

Hosted by
Spain Water and IWHR, China

COMITÉ ORGANIZADOR



ORGANIZAÇÃO



PATROCINADORES



| SUMÁRIO |

REMOCIÓN HIDRODINÁMICA DE SEDIMENTOS EN CANALES DE RIEGO.....	13
LA HIDROVÍA PARANÁ - PARAGUAY. OPTIMIZACIÓN DE DRAGADOS DE MANTENIMIENTO.	15
NAVEGACION EN CURVAS DE LA HIDROVIA PARANA-PARAGUAY	17
CUANTIFICACIÓN DEL RIESGO ASOCIADO A INUNDACIONES POR LAS CRECIDAS DEL RÍO URUGUAY EN LA CIUDAD DE PAYSANDÚ.....	19
USO DE LA TEORÍA DE GRAFOS PARA EL TRAZO Y DISEÑO DE UNA RED DE DRENAJE PLUVIAL	28
ESTUDIO DEL PROCESO DE MEZCLA RÁPIDA AL INGRESO DE UNA PLANTA POTABILIZADORA MEDIANTE UN MODELO CFD.....	39
ESTUDIO NUMÉRICO PRELIMINAR PARA LA IMPLEMENTACIÓN EN AMBIENTE RELEVANTE DE UN PROTOTIPO DE TURBINA HORIZONTAL GENERADORA DE ENERGÍA POR CORRIENTE MARINA EN EL CANAL DE COZUMEL	41
MODELACIÓN FÍSICA Y MATEMÁTICA PARA EL ESTUDIO DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO DE SALIDA DEL SISTEMA RIACHUELO (BUENOS AIRES, ARGENTINA).....	52
OBRAS DE PROTECCIÓN FLUVIAL CON CORTINA DE PILOTES Y GEOESTRUCTURAS EN CABUYARO, COLOMBIA.....	62
PRIORIZAÇÃO DE INVESTIMENTOS PARA MANUTENÇÃO EM ESTAÇÕES DE BOMBEAMENTO DE ÁGUA	71
UTILIZAÇÃO DE PILARES DE VERTEDOUROS COM SEÇÃO VARIÁVEL PARA REDUÇÃO DE PROCESSOS EROSIVOS A JUSANTE DE ESTRUTURAS HIDRÁULICAS.....	82
POTENCIALIDADES DO PROGRAMA LID TTT NO ESTUDO DE CASO DE PORTO ALEGRE, RS BRASIL	94
AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES OPERACIONAIS DE UMA REDE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA COM O USO DO <i>SOFTWARE</i> EPANET 2.0.....	105
DIAGNÓSTICO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DE UMA BARRAGEM DE PEQUENO PORTE: ESTUDO DE CASO DA BARRAGEM DO LAGO JABOTI, APUCARANA – PARANÁ.....	113
DIAGNÓSTICO DO MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS EM UMA GRANDE CIDADE SEM UM PLANO DIRETOR DE DRENAGEM	123
ANÁLISE DAS DIMENSÕES NÁUTICAS DA HIDROVIA DO RIO PARAGUAI PARA AVALIAÇÃO DE OBRAS COMPLEMENTARES PARA NAVEGAÇÃO	132
UTILIZAÇÃO DE TUBO GEOTÊXTIL COMO QUEBRA-MAR SUBMERSO NA MITIGAÇÃO DA EROÇÃO COSTEIRA	144
TUBOS DE GEOTÊXTIL SOILTAIN CP FACILITAM A CONSTRUÇÃO DAS FUNDAÇÕES DA PONTE NANAY – PERU	155
O IMPACTO DA SAZONALIDADE EM UM SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA NO LITORAL PAULISTA: O CASO DO SAA PORTO NOVO EM CARAGUATATUBA/SP	160
AJUSTE DE MODELOS ESTATÍSTICOS PARA SÉRIES TEMPORAIS DE PRESSÃO EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA.....	173

CONDUTOS HIDRÁULICOS ADOTADOS EM OBRA DE SEGURANÇA HÍDRICA DO INTERIOR DO CEARÁ.....	183
ESTUDO DA INFLUÊNCIA DAS TARIFAS DE ENERGIA NO DIMENSIONAMENTO ECONÔMICO DE ADUTORAS E LINHAS DE RECALQUE NA REGIÃO NORDESTE DO BRASIL.....	188
OPERAÇÃO DE BOMBEAMENTO INTERMITENTE - OPERAÇÃO BOCHECHO - NO CANAL DO RIO PINHEIROS, SÃO PAULO, BRASIL.....	197
SIMULAÇÃO DE MODELO PREDITIVO DE CONTROLE (MPC) E ANÁLISE COMPARATIVA DE PERÍODOS DE CHUVA.....	199
CREATION OF A DATABASE ON DAMS ACCIDENTS USING A PLATFORM OF BUSINESS INTELLIGENCE.....	208
ANÁLISE TEMPORAL DE ÍNDICES DE PERDAS DO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA TRATADA DO MUNICÍPIO DE ITABIRA, MINAS GERAIS.....	215
IMPACTOS DA IMPLANTAÇÃO DO CINTURÃO DAS ÁGUAS NA REGIÃO METROPOLITANA DO CARIRI CEARENSE.....	216
DISTRIBUCIÓN DE AGUA EN EL DELTA DEL RÍO GUAYAS.....	222
ESTUDIO HIDROLÓGICO-HIDRÁULICO EN RÍOS DE LA PUNA ARGENTINA PARA OBRAS DE INFRAESTRUCTURA.....	234
FORMULACIÓN DE FUNCIÓN PARA MINIMIZAR COSTOS DE OPERACIÓN EN PLANTAS DE BOMBEO UTILIZANDO PROGRAMACIÓN DINÁMICA.....	246
ANÁLISIS DE OBRAS EN LOS ARROYOS DE LA CIUDAD DE SALTO PARA EL CONTROL DE INUNDACIONES PROVOCADAS POR EL RIO URUGUAY.....	257
USO EFICIENTE DEL AGUA EN PROYECTOS DE PROPIEDAD HORIZONTAL PARA CERTIFICACIÓN DE CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE.....	266
APLICACIÓN DE LA CURVA DE CONSIGNA PARA EL ANÁLISIS Y OPTIMIZACIÓN DE REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA.....	278
ANALISIS DE PELIGROSIDAD Y PERDIDAS POR INUNDACIÓN EN CAUCASIA Y PAVARANDOSITO, DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA.....	288
LECCIONES APRENDIDAS EN LA APLICACIÓN DE METODOLOGÍAS PROBABILISTAS PARA EL DISEÑO DE INFRAESTRUCTURAS PORTUARIAS.....	290
EFFECTOS DE LA OPERACIÓN NO UNIFORME EN CUENCOS DE DISIPACIÓN.....	292
CORRELACIÓN DE VARIABLES GEOTÉCNICAS Y NIVEL DE EMBALSE EN TRES PRESAS DE TIERRA EN COLOMBIA.....	302
REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS FÍSICAS EN UNA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE MEDIANTE LA SIMULACIÓN HIDRÁULICA DE PRESIONES.....	315
APLICACIÓN DE SISTEMAS DE DRENAJE URBANO SOSTENIBLE EN SUELOS ARCILLOSOS.....	317
ACTUALIZACIÓN DE LAS POLÍTICAS DE OPERACIÓN DE LAS PRESAS DEL RIO GRIJALVA Y DE SUS CURVAS GUÍA TRAS LOS EVENTOS DE INUNDACIÓN DEL AÑO 2020.....	326
DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA DEL DESAGÜE DE FONDO DE LA PRESA DE TERROBA.....	338
SIMULACIÓN CON CFD DE MICRO TURBINAS HIDRÁULICAS. COMPARACIÓN DE ANSYS CFX, ANSYS FLUENT Y FLOW SIMULATION.....	350

EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LOS DISPOSITIVOS DE CONVERSIÓN DE ENERGÍA DE CORRIENTES MARINAS	352
IMPLANTAÇÃO DE TURBO GERADOR ANFÍBIO A PARTIR DA VAZÃO SANITÁRIA.....	354
CAPTAÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS PARA REUSO NA PISCICULTURA: UM ESTUDO DE CASO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO	356
ESTUDO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA PARA CAPTAÇÃO E APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS EM INSTITUIÇÃO DE ENSINO.....	364
RIEGO SOSTENIBLE Y MEJORA DE SU GESTIÓN EN LOS ARROZALES DEL VALLE DEL GUADALQUIVIR: ESQUEMA EXPERIMENTAL	373
DISEÑO DE SUDS CON BENEFICIOS ECOHIDROLÓGICOS EN PROYECTOS DE TRANSPORTE Y ESPACIO PÚBLICO. CASO DE ESTUDIO DE BOGOTÁ	380
INUNDACIONES EN INTERCAMBIOS VIALES A DESNIVEL, TÚNELES VIALES Y SUS ESTRATEGIAS DE GESTIÓN	392
PARQUE ORLA PIRATININGA – INFRAESTRUTURA SUSTENTÁVEL PARA RECUPERAÇÃO DE UM SISTEMA LAGUNAR URBANO.....	394
LEVANTAMENTO DA OCORRÊNCIA DE INUNDAÇÕES E DE MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS NA ESCALA DE LOTE: ESTUDO DE CASO EM SANTA LUZIA (MG, BRASIL).....	405
REPOTENCIAÇÃO DE CGH POR MEIO DE TURBO GERADORES ANFÍBIOS.....	417
DETERMINACIÓN EXHAUSTIVA DE LA GEOMETRÍA DE PRESAS Y EMBALSES EN UNA CUENCA PARA LA PROSPECCIÓN SISTEMÁTICA DE SITIOS	419
IMPACTO DA INFRAESTRUTURA VERDE NO DIMENSIONAMENTO DA REDE DE MICRODRENAGEM	428
ANÁLISIS DEL FLUJO IMPERMANENTE EN RED DE ACUEDUCTOS ALBIGASTA CATAMARCA - SANTIAGO DEL ESTERO, ARGENTINA	438
USO DE MICROTURBINAS HIDRÁULICAS EN ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO. SIMULACIÓN DE TURBINA TURGO EN SOLIDWORKS Y ANSYS CFX	449
EVALUACIÓN DEL USO EFICIENTE DEL AGUA Y LA ENERGÍA, AHORRO ENERGÉTICO Y EMISIÓN DE CO2 EN SISTEMA DE RIEGO PRESURIZADO POR TURNOS	451
APRENDIZADO DE MÁQUINA PARA EXTRAÇÃO DE REGRAS DE OPERAÇÃO EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA.....	453
ANÁLISE TEMPORAL DE ÍNDICES DE PERDAS DO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA TRATADA DO MUNICÍPIO DE JAÍBA, MINAS GERAIS.....	455
PROYECTO Y EJECUCIÓN DE LA REPARACIÓN DE LA ALCANTARILLA DE LA QUEBRADA EL AÑIL EN LA URB. VALLE BLANCO, VALENCIA, VENEZUELA	456
ADAPTACIÓN DE LA SOLUCIÓN URBANÍSTICA AL RELIEVE FACILITA SENCILLAS SOLUCIONES DE DRENAJES PLUVIAL Y SANITARIO.....	465
ESTUDO DAS PERDAS NO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DO MUNICÍPIO DE UBERABA-MG	471
USO DE DIFERENTES TOPOGRAFIAS NA PROPAGAÇÃO DE HIDROGRAMA ASSOCIADO À RUPTURA HIPOTÉTICA DE BARRAGEM.....	480

DIMENSIONAMENTO E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE CANAL DE SEÇÃO RETANGULAR COM REVESTIMENTO DE GABIÃO PARA APLICAÇÃO NA IRRIGAÇÃO	482
PERDA DE CARGA LOCALIZADA E VARIAÇÃO DA CARGA CINÉTICA EM TUBOEMISSORES DE IRRIGAÇÃO LOCALIZADA.....	492
USO DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS VOLUNTÁRIAS PARA VALIDAR A MODELAGEM DE INUNDAÇÕES NO CÓRREGO PITEIRAS (BRASIL)	494
ANÁLISE HIDRÁULICA DO BUEIRO LOCALIZADO NO RIBERÃO BARRA NOVA, APUCARANA - PR.	496
REVISIÓN DE METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD HIDRÁULICA DE PUENTES Y SU APLICACIÓN A PUENTES CHILENOS	508
DESIGUALDAD TERRITORIAL EN EL ACCESO AL AGUA POTABLE Y LA HIGIENE.....	510
EXPERIENCIAS EN EL COMPORTAMIENTO DE LAS OBRAS DE MITIGACION DE RIESGO EN VARGAS - VENEZUELA 20 AÑOS DESPUÉS.....	520
USO DA FERRAMENTA COMPUTACIONAL INFLOWMATIX PARA AVALIAÇÃO DE DISPOSITIVO DE PROTEÇÃO CONTRA TRANSIENTES HIDRÁULICOS	532
PROTEÇÃO COSTEIRA EM GABIÃO NA PRAIA CAMBOINHAS.....	541

LECCIONES APRENDIDAS EN LA APLICACIÓN DE METODOLOGÍAS PROBABILISTAS PARA EL DISEÑO DE INFRAESTRUCTURAS PORTUARIAS

Antonio Tomás, David Lucio, Javier L. Lara, Iñigo J. Losada y Gabriel Díaz-Hernández

IHCantabria – Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria.

Parque Científico y Tecnológico de Cantabria. C/ Isabel Torres, Nº 15 - C.P. 39011 Santander. España. Teléfono: +34 942 20 16 16
antonio.tomas@unican.es, david.lucio@unican.es, jav.lopez@unican.es, inigo.losada@unican.es, gabriel.diaz@unican.es

Introducción

Las infraestructuras portuarias son nodos fundamentales en los sistemas de transporte marítimo al proporcionar protección ante la acción de las dinámicas marinas, garantizando el correcto funcionamiento de los sectores económicos, productivos y sociales de las comunidades litorales.

Dichas dinámicas tienen un comportamiento estocástico sujetas, en función de la ubicación concreta del puerto, a distintos grados de variabilidad temporal (diaria, estacional, intra-anual, etc.) y a su vez alteradas por el Cambio Climático. Además, no sólo presentan la variabilidad intrínseca de los procesos climáticos que las generan, sino también una alta incertidumbre en su determinación, fundamentalmente las previsiones a largo plazo, en las cuales juega un papel muy importante las distintas hipótesis realizadas para establecer las distintas trayectorias correspondientes de las emisiones de gases de efecto invernadero.

En este contexto de incertidumbre, debida tanto a los drivers climáticos como a los antropogénicos, juega un papel clave la correcta definición y caracterización de la incertidumbre en las distintas fases y aspectos del diseño de un puerto: Lo cual no afecta únicamente a una correcta estima de la fiabilidad de las infraestructuras críticas a lo largo de su extensa vida útil, sino también a la evolución de la calidad de los servicios portuarios que alojan, condicionando de forma multi-sectorial la logística del transporte.

Para ello, el desarrollo de metodologías probabilistas, capaces de caracterizar la evolución de la incertidumbre en distintos ámbitos del diseño portuario, permite evaluar la fiabilidad y la funcionalidad de dichos sistemas de infraestructuras portuarias. Dichas metodologías, a su vez, incorporan la variación de los drivers climáticos y su incertidumbre, a lo largo de su vida útil, estudiando de forma robusta el impacto del Cambio Climático en el diseño de puertos. Pero a su vez, dichas técnicas probabilísticas tienen capacidad para incorporar la incertidumbre asociada a otros drivers antropogénicos o al análisis económico-financiero de un determinado diseño constructivo.

IHCantabria, durante los últimos 5 años, ha desarrollado una serie de metodologías probabilísticas basadas en técnicas de Monte Carlo que resuelven la caracterización de la incertidumbre para un diseño más robusto y óptimo de infraestructuras portuarias. Dichas metodologías recogen los tres ámbitos de aplicación destacados anteriormente: 1) verificar la fiabilidad y funcionalidad del diseño, 2) incorporar el impacto del Cambio Climático y 3) analizar la evolución económica y financiera de una obra. Todos ello ha sido desarrollado dentro del marco normativo de aplicación ROM (Recomendaciones de Obras Marítimas, ROM 0.0-01).

A continuación, se presentan los siguientes tres casos de éxito en la aplicación de metodologías probabilistas para el diseño de infraestructuras portuarias, uno por cada uno de los ámbitos de aplicación expuestos anteriormente:

- 1) Verificación mediante Nivel III del diseño de diques.
- 2) Impacto del Cambio Climático en infraestructuras portuarias.
- 3) Optimización del sistema dual ROM – MEIPOR

Caso de éxito 1: Verificación mediante Nivel III del diseño de diques.

Tal y como se establece en las Recomendaciones de Obras Marítimas (ROM 1.0-09) en función del carácter de la obra, se puede requerir la verificación de un determinado diseño de un dique mediante métodos de cálculo probabilístico. Entre dichos métodos destaca el procedimiento denominado de Nivel III, que aplica la técnica de Monte Carlo para verificar si se cumplen las probabilidades de fallo de los modos de fallo establecidos en los criterios generales del proyecto.

En este sentido, se ha desarrollado una metodología específica que reproduce miles de ciclos de las sollicitaciones que sufre cada sección del dique a lo largo de su vida útil, evaluándose cuantas veces se supera el umbral de fallo de cada elemento o modo de fallo y el cómputo total de la sección representativa de cada tramo de obra. Para ello, es necesario caracterizar el clima marítimo incidente en el dique, correlacionando las distintas variables de viento, oleaje, corrientes y nivel del mar de las que dependen las ecuaciones de verificación de cada modo de fallo, así como sus incertidumbres. Cabe señalar que el clima marítimo multidimensional incidente (viento, oleaje, corrientes y niveles) se caracteriza a partir de las distintas funciones de distribución marginales de extremos, utilizando la técnica de las cópulas para mantener las correlaciones cruzadas entre todas ellas.

De entre los distintos ejemplos de aplicación realizados de esta metodología probabilista destaca la verificación de las 11 secciones tipo del Puerto de Gran Escala (PGE) en el Puerto de San Antonio (Chile) una vez calibrado tanto el clima marítimo como las ecuaciones de verificación de los modos de fallo mediante modelado físico en laboratorio. Dichos trabajos fueron realizados en colaboración con SENER Ingeniería y Sistemas S.A.

Finalmente, la aplicación avanzada de este tipo de técnicas ha permitido optimizar ciertos diseños de infraestructuras portuarias para cumplir estrictamente con las probabilidades de fallo asignadas a cada uno de los modos de fallo de la estructura.

Caso de éxito 2: Impacto del Cambio Climático en infraestructuras portuarias.

Como es sabido, las zonas costeras se encuentran altamente expuestas al cambio climático y al aumento del nivel medio del mar, induciendo impactos con consecuencias adversas sobre las infraestructuras portuarias.

No obstante, una caracterización fidedigna de estos impactos costeros requiere previamente haber realizado adecuada caracterización del forzamiento climático. En este sentido, las proyecciones multi-modelo y multi-escenario de cambio climático de las variables marinas constituyen la mejor fuente de conocimiento, pues modelan desde la actualidad hasta final de siglo el clima marino bajo la hipótesis de diferentes escenarios climáticos (por ejemplo, RCP4.5 y RCP8.5). Sin embargo, éstas han sido obtenidas a escala global/regional con una resolución espacial insuficiente para llevar a cabo una evaluación fiable de los impactos a escala local en zonas costeras.

Es por ello que se ha desarrollado una metodología para caracterizar la incertidumbre de los impactos en puertos teniendo en cuenta la transferencia hasta la costa de cada una de las proyecciones de oleaje y nivel del mar de cambio climático, lo que permite la caracterización multivariada del clima marítimo incidente en la infraestructura portuaria en diferentes escenarios y horizontes temporales.

Caso de éxito 3: Optimización del sistema dual ROM – MEIPOR.

Las obras marítimas y portuarias son infraestructuras que permiten al puerto que albergan la generación de valor en condiciones de seguridad, operatividad y eficiencia. Es por tanto necesario que la concepción y la toma de decisiones en relación con la planificación y el diseño de estas se lleven a cabo de una manera global y sin desligarlo del análisis de su rentabilidad económico-financiera.

En España, para la verificación y cumplimiento de los objetivos anteriores coexisten el Programa de Recomendaciones Marítimas y Portuarias (ROM 0.0-01) y el Método de Evaluación de Inversiones Portuarias (MEIPOR-16). El primero proporciona el soporte técnico en el diseño de las infraestructuras y el segundo proporciona el soporte económico-financiero en la conceptualización del proyecto de inversión. Se trata por tanto de herramientas complementarias y de obligado uso conjunto para la correcta toma de decisiones en relación con el desarrollo portuario.

El desarrollo de la metodología para optimizar la aplicación del sistema dual (binomio ROM-MEIPOR) se lleva a cabo en un entorno de incertidumbre, debido tanto a los procesos climáticos como a las variables económicas y de mercado con incidencia directa e indirecta en el puerto. El proceso de optimización es doble e iterativa, en la que el resultado final define el proyecto de construcción óptimo que lleva aparejado un proyecto de inversión eficiente cumpliendo todas las restricciones de ROM y MEIPOR.

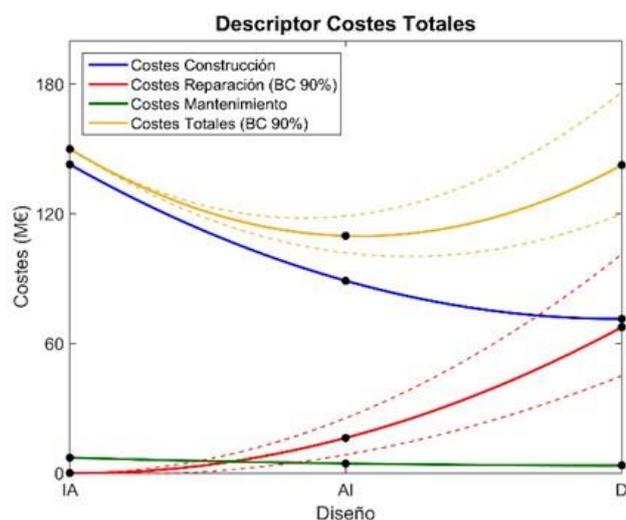


Figura 1.- Análisis de sensibilidad de los costes totales de un proyecto frente al criterio de diseño del dique: Inicio de Avería IA, avería de Iribarren AI, destrucción D para una terminal concebida en un escenario de demanda creciente durante la concesión.

Conclusiones

La aplicación de las metodologías probabilistas ha permitido cumplir exitosamente con los requerimientos de las Recomendaciones de Obras Marítimas (ROM 1.0 - 09) en cuanto a la verificación mediante Nivel III de distintos diseños de diques.

Especial importancia cobra, en el diseño de infraestructuras portuarias, la incorporación no sólo de los efectos del cambio climático en las metodologías de diseño, sino también acotar correctamente la incertidumbre asociada a los distintos escenarios climáticos establecidos por el IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). En este sentido, el desarrollo y aplicación de metodologías probabilistas ha permitido acotar el impacto del Cambio Climático en la fiabilidad y funcionalidad de infraestructuras portuarias.

Finalmente, no sólo el análisis técnico de la fiabilidad y funcionalidad de una obra es objeto de verificación mediante técnicas probabilistas (ROM 0.0-01), sino que es necesario también cumplir una serie de restricciones económicas financieras (MEIPOR-16) relativas al cumplimiento de los objetivos de inversión en la vida de una determinada concesión portuaria. Para cumplir con ambos requerimientos se ha definido una metodología probabilista dual para optimizar un determinado proyecto de inversión portuario, cumpliendo todas las restricciones de ROM y MEIPOR, tal y como se establece en la ROM 1.1-18.

Como conclusión final, las distintas aplicaciones o casos de éxito desarrollados, han permitido acotar la cascada de incertidumbre asociada a distintos procesos y factores que interviene en el diseño de infraestructuras portuarias, fundamentalmente los vinculados al riesgo climático.

Agradecimientos

David Lucio agradece al Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades su apoyo económico a través del programa para la formación de personal investigador (FPI PRE2018-086142).

Este trabajo ha sido parcialmente financiado a través del Programa Estatal de PROYECTOS DE I+D+i orientada a los Retos de la sociedad (PID2020-118285RB-I00) del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades.

Los autores agradecen el apoyo recibido del Ministerio de Transición Ecológica y Reto Demográfico a través del proyecto “Contrato de servicios para la elaboración de la metodología y bases de datos para la proyección de impactos del Cambio Climático a lo largo de la costa española”.

Los autores agradecen el apoyo recibido de Puertos del Estado a través del proyecto “Aplicación metodológica del análisis de rentabilidad económica-financiera del proyecto de construcción e inversión de una obra marítima mediante el uso dual ROM - MEIPOR”, así como a la empresa McValnera por su participación en dicho proyecto.

Finalmente, los autores agradecen el apoyo recibido de la empresa SENER Ingeniería y Sistemas S.A. a través de los distintos proyectos de colaboración realizados en el marco de la “Ingeniería de optimización e ingeniería de detalle de obra de abrigo, dragado y obras complementarias del Puerto de Gran Escala en el Puerto de San Antonio (Chile)”.

Referencias

- MEIPOR-16.** (2016) Manual de Evaluación de rentabilidad de Inversiones en el Sistema Portuario de Titularidad Estatal. *Puertos del Estado*
- ROM 0.0-01.** (2001) Procedimiento General y Bases de Cálculo para Proyectos en Obras Marítimas. *Puertos del Estado*
- ROM 1.0-09.** (2009) Bases y Factores del Proyecto para estructuras marítimas frente a las oscilaciones del mar. *Puertos del Estado*
- ROM 1.1-18.** (2018) Recomendaciones para el proyecto de Construcción de Diques de Abrigo. *Puertos del Estado*