



Departamento de Ingeniería de la Construcción y Proyectos de Ingeniería



INGENIERÍA DE LA CONSTRUCCIÓN

Toma de decisiones en la gestión del ciclo de vida de puentes e infraestructuras viarias de alta eficiencia social bajo presupuestos restrictivos

VÍCTOR YEPES PIQUERAS

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Catedrático de Universidad

>SantiagoMayo2019



Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile)

23 de mayo de 2019

<https://victoryepes.blogs.upv.es/>

Proyecto Investigador

 El grupo de investigación GPRC

 Líneas de investigación del grupo

 Proyectos de investigación

 Proyecto BRIDLIFE

Víctor Yepes
MSc MEng BEng (Hons) Civil & Structural Engineer, Ph.D.



Full Professor with Tenure in Construction Engineering
(Catedrático de Universidad en Ingeniería de la Construcción)
Institute of Concrete Science and Technology, ICITECH
(Instituto de Ciencia y Tecnología del Hormigón, ICITECH)
Department of Construction Engineering
(Departamento de Ingeniería de la Construcción)
Universitat Politècnica de València
 Building 4G, office 21, Camino de Vera, s/n
 46022 Valencia (Spain)

E-mail: vyepesp@cst.upv.es
 Personal web page: <http://personales.upv.es/vyepesp/>
 Personal blog page: <http://victoryepes.blogs.upv.es/>
 Scopus Author ID: [23487457600](#)
 Web of Science Author: [K-9763-2014](#)
 ORCID Author: [0000-0001-5488-6001](#)
 ResearchGate: https://www.researchgate.net/profile/Victor_Yepes2



Víctor Yepes Piqueras. Dr. Ingeniero de Caminos

>SantiagoMayo2019



Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile) 23 de mayo de 2019

<https://victoryepes.blogs.upv.es/>

Proyecto Investigador

El grupo de investigación GPRC

Líneas de investigación del grupo

Proyectos de investigación

Proyecto BRIDLIFE





UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Biografía Docencia Investigación Publicaciones Personajes Tesoro

Victor Yepes Piqueras

Conferencias en Chile sobre optimización y toma de decisiones en puentes e infraestructuras viarias

La Pontificia Universidad Católica de Valparaíso y su Escuela de Ingeniería en Construcción, a través del profesor Matías Andrés Valenzuela Saavedra, me han invitado a impartir varias conferencias sobre toma de decisiones en la gestión del ciclo de vida de puentes e infraestructuras viarias de alta eficiencia social y medioambiental bajo presupuestos restrictivos. Estas conferencias, que tendrán lugar en Valparaíso el 22 de mayo de 2019 y en Santiago el 23 de mayo, se complementarán con varias reuniones con diversos profesores y con representantes del Ministerio de Obras Públicas de Chile. Os paso a continuación los folletos anunciadores de las charlas, por si alguno de vosotros se encuentra allí la próxima semana y quiere venir a las mismas.

Entorno Enlace

Facebook <https://www.facebook.com/groups/procedimientosconstruccion/>

Linkedin http://www.linkedin.com/groups/Procedimientos-generales-construccion-%C3%83n-organizacion-%C3%83n-obras-3699503?trk=hb_side_g&id=3699503

Paper.li <http://paper.li/f-1358587409>

Scoop.it! <http://www.scoop.it/t/procedimientos-de-construccion>

Wikispaces <http://procedimientosconstruccion.wikispaces.com/>

Wordpress <http://procedimientosconstruccion.blogs.upv.es/>

Youtube <http://www.youtube.com/playlist?list=PL7E56CF86A0BF2288>

(Ralph B. Peck, 1912-2008)

CHARLA

...mo robusto y basado en fiabilidad
...viarias de alta eficiencia social y
...tal bajo presupuestos restrictivos"

Mié. 22 MAYO de 2019

Victor Yepes Piqueras. Dr. Ingeniero de Caminos

>SantiagoMayo2019



Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile) 23 de mayo de 2019

<https://victoryepes.blogs.upv.es/>

Proyecto Investigador

El grupo de investigación GPRC

Líneas de investigación del grupo

Proyectos de investigación

Proyecto BRIDLIFE





UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Biografía Docencia Investigación Publicaciones Personajes Tesoro

Victor Yepes Piqueras

MEMBER OF EDITORIAL BOARDS

- Structure & Infrastructure Engineering (SCI Journal). Associate Editor.
- Advances in Civil Engineering (SCI Journal)
- Advances in Concrete Construction (SCI Journal)
- Revista de la Construcción (SCI Journal)
- Structural Engineering and Mechanics (SCI Journal)
- Sustainability (SCI Journal)
- International Journal of Construction Engineering and Management. Editor in Chief
- Cuadernos de Turismo
- J-Multidisciplinary Scientific Journal
- Journal of Construction Engineering, Management & Innovation
- Journal of Sustainability Research
- Mathematics
- Revista de Ciências Exatas Aplicadas e Tecnológicas da Universidade de Passo Fundo, CIATEC-UPF

81 artículos indexados en JCR

ÍNDICE H = 22

Victor Yepes Piqueras. Dr. Ingeniero de Caminos

>SantiagoMayo2019



Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile)

23 de mayo de 2019

Universitat Politècnica de València

Proyecto Investigador

El grupo de investigación GPRC

Líneas de investigación del grupo

Proyectos de investigación

Proyecto BRIDLIFE





Victor Yepes Piqueras. Dr. Ingeniero de Caminos

>SantiagoMayo2019



Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile)

23 de mayo de 2019

Instituto de Ciencias y Tecnologías del Hormigón

Proyecto Investigador

El grupo de investigación GPRC

Líneas de investigación del grupo

Proyectos de investigación

Proyecto BRIDLIFE





RECURSOS HUMANOS: 58 miembros

Personal Docente e Investigador: 31 (10 de ellos CU y 12 TU)

Investigadores en Formación: 16

Personal de Apoyo a la Investigación: 7

Personal Técnico: 2

Personal de Gestión y Administración: 2



Victor Yepes Piqueras. Dr. Ingeniero de Caminos

>SantiagoMayo2019



Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile)

23 de mayo de 2019

Líneas de investigación

Proyecto Investigador

El grupo de investigación GPRC

Líneas de investigación del grupo

Proyectos de investigación

Proyecto BRIDLIFE



- Líneas de investigación previas:**
 - Optimización heurística económica de redes de transporte
 - Planificación turística e ingeniería costera
- Líneas de investigación vigentes:**
 - Optimización sostenible multiobjetivo y análisis del ciclo de vida de estructuras de hormigón
 - Toma de decisiones y evaluación multicriterio de la sostenibilidad social de las infraestructuras
 - Optimización heurística del mantenimiento de pavimentos
 - Innovación y competitividad de empresas constructoras en sus procesos
 - Innovación docente y diseño de planes de estudio de postgrado en construcción

Victor Yepes Piqueras. Dr. Ingeniero de Caminos

>SantiagoMayo2019



Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile)

23 de mayo de 2019

Optimización heurística en ingeniería

Proyecto Investigador

El grupo de investigación GPRC

Líneas de investigación del grupo

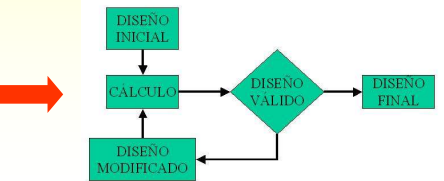
Proyectos de investigación

Proyecto BRIDLIFE



- Inteligencia artificial aplicada al diseño automatizado y a la optimización multicriterio de estructuras**
 - Inversión pública en infraestructuras 12000 M€/año.
 - 1800 M€/año en estructuras (15%).
 - 1/3 en obras de fábrica de carretera y ferrocarril.
 - Excesos de coste >10%: 60-100 M€/año

Procedimientos "artesanales" de diseño basados en la experiencia del proyectista y en el método de "prueba y error"



Victor Yepes Piqueras. Dr. Ingeniero de Caminos

>SantiagoMayo2019



Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile) 23 de mayo de 2019

Optimización heurística de estructuras

Proyecto Investigador

El grupo de investigación GPRC

Líneas de investigación del grupo

Proyectos de investigación

Proyecto BRIDLIFE



- ¿Es capaz la inteligencia artificial de diseñar automáticamente las estructuras?
- ¿La IA podrá suplantar la experiencia del ingeniero en el prediseño de las estructuras?
- ¿Puede alcanzarse una economía importante en los costes de construcción de las estructuras sin merma de la calidad ni de la seguridad?
- ¿Pueden optimizarse varios criterios a la vez? ¿Cómo son las estructuras de bajo coste y alta seguridad?
- ¿Deberían revisarse las normas si se extiende el cálculo optimizado de estructuras?



Victor Yepes Piqueras. Dr. Ingeniero de Caminos

>SantiagoMayo2019



Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile) 23 de mayo de 2019

Proyecto investigador: BRIDLIFE

Proyecto Investigador

El grupo de investigación GPRC

Líneas de investigación del grupo

Proyectos de investigación

Proyecto BRIDLIFE

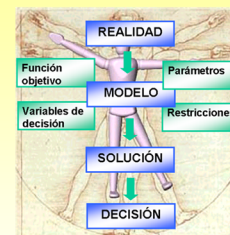


Objetivo de BRIDLIFE

- Afrontar el reto social que supone la creación y la conservación del patrimonio de las infraestructuras en escenarios de fuertes restricciones presupuestarias, mediante la resolución de los problemas complejos planteados en el ámbito de las decisiones públicas y privadas
- **BRIDgE LIFE**-cycle assessment

Victor Yepes Piqueras. Dr. Ingeniero de Caminos

>SantiagoMayo2019



Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile)

23 de mayo de 2019

Proyecto investigador: BRIDLIFE

Proyecto Investigador

El grupo de investigación GPRC

Líneas de investigación del grupo

Proyectos de investigación

Proyecto BRIDLIFE

Víctor Yepes Piqueras. Dr. Ingeniero de Caminos

>SantiagoMayo2019



Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile)

23 de mayo de 2019

Proyecto investigador: BRIDLIFE

Proyecto Investigador

El grupo de investigación GPRC

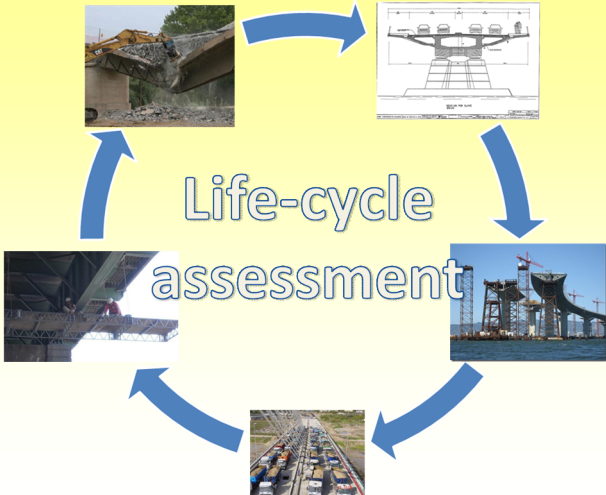
Líneas de investigación del grupo

Proyectos de investigación

Proyecto BRIDLIFE



Life-cycle assessment



```

graph TD
    A[Construction] --> B[Operation]
    B --> C[Maintenance]
    C --> D[Decommissioning]
    D --> E[Design/Analysis]
    E --> A
  
```

Víctor Yepes Piqueras, Dr. Ingeniero de Caminos

>Santiago Mayo 2019



Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile) 23 de mayo de 2019

Proyecto investigador: BRIDLIFE

Proyecto Investigador

El grupo de investigación GPRC

Líneas de investigación del grupo

Proyectos de investigación

Proyecto BRIDLIFE



DECISOR
 ALTERNATIVA ESTRUCTURAL Y GESTIÓN DEL CICLO DE VIDA

TÉCNICAS DE CONSENSO EN RED NECESIDADES SOCIALES Y AMBIENTALES: ELECCIÓN DE OBJETIVO, CRITERIOS (FACTORES DE RIESGO, CONTRATACIÓN, ESTÉTICA, EMPLEABILIDAD, SEGURIDAD PERSONAS...) Y ALTERNATIVAS	TÉCNICAS DE DECISIÓN MULTICRITERIO AHP, MIVES, ANP, MAUT MODELOS FUZZY, ENFOQUE BAYESIANO	CICLO DE VIDA TECNOLOGÍA DE FABRICACIÓN, MATERIALES, TRANSPORTE, CONSTRUCCIÓN, MANTENIMIENTO, CARBONATACIÓN, DEMOLICIÓN, REUTILIZACIÓN
--	--	---

ANALISTA
 FRONTERA DE PARETO. SOLUCIONES EFICIENTES

OPTIMIZACIÓN MULTIOBJETIVO RECOCIDO SIMULADO, ENJAMBRE DE HORMIGAS, ENJAMBRE DE LUCIERNAGAS, BÚSQUEDA DE ARMONÍA	OBJETIVOS EMISIÓN DE CO₂, CONSUMO ENERGÉTICO, SEGURIDAD, CONSTRUCTIBILIDAD, DURABILIDAD	RESTRICCIONES ESTRUCTURALES, GEOMÉTRICAS, PRESUPUESTARIAS	VARIABLES GEOMETRÍA, TIPO Y DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN, CANTIDAD DE ACERO, PRETENSADO...
---	---	--	--

DECISOR
 MEJOR SOLUCIÓN

TÉCNICAS DE DECISIÓN AHP, MIVES, ANP, MAUT	MÉTRICA DISTANCIA EUCLÍDEA, DE MANHATTAN, DE TCHEBYCHEFF, DE MAHALANOBIS
---	---

ANÁLISIS PARAMÉTRICO Y DE SENSIBILIDAD
CAMBIOS EN ESCENARIOS PRESUPUESTARIOS, HIPÓTESIS DEL CICLO DE VIDA, VALORACIÓN DE CRITERIOS

Victor Yepes Piqueras. Dr. Ingeniero de Caminos

>SantiagoMayo2019



Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile) 23 de mayo de 2019

El problema básico en la gestión de activos

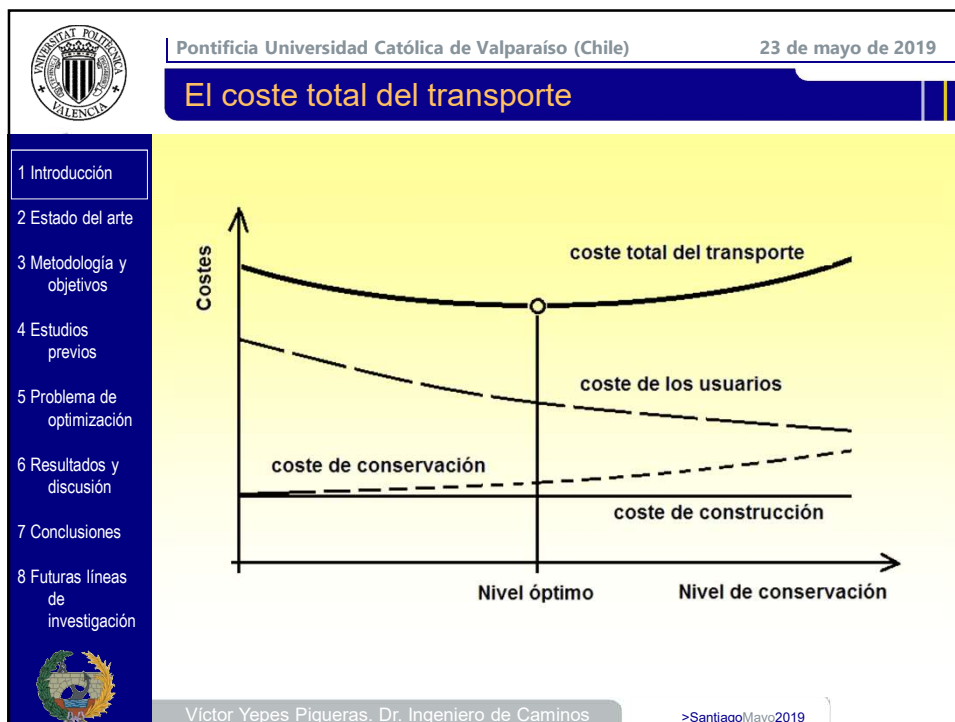
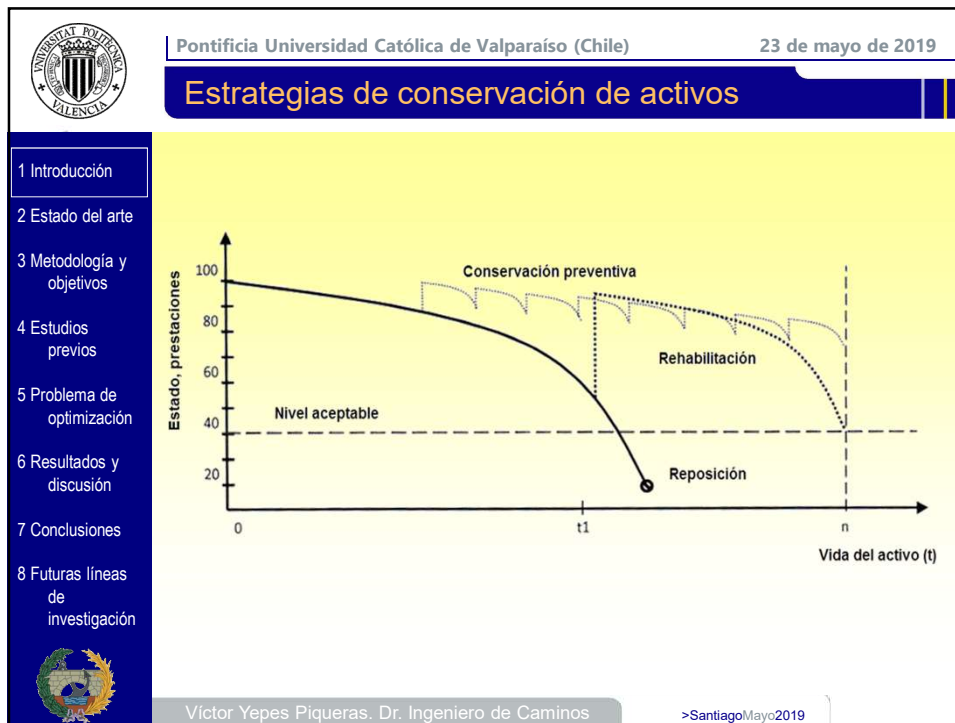
- 1 Introducción
- 2 Estado del arte
- 3 Metodología y objetivos
- 4 Estudios previos
- 5 Problema de optimización
- 6 Resultados y discusión
- 7 Conclusiones
- 8 Futuras líneas de investigación

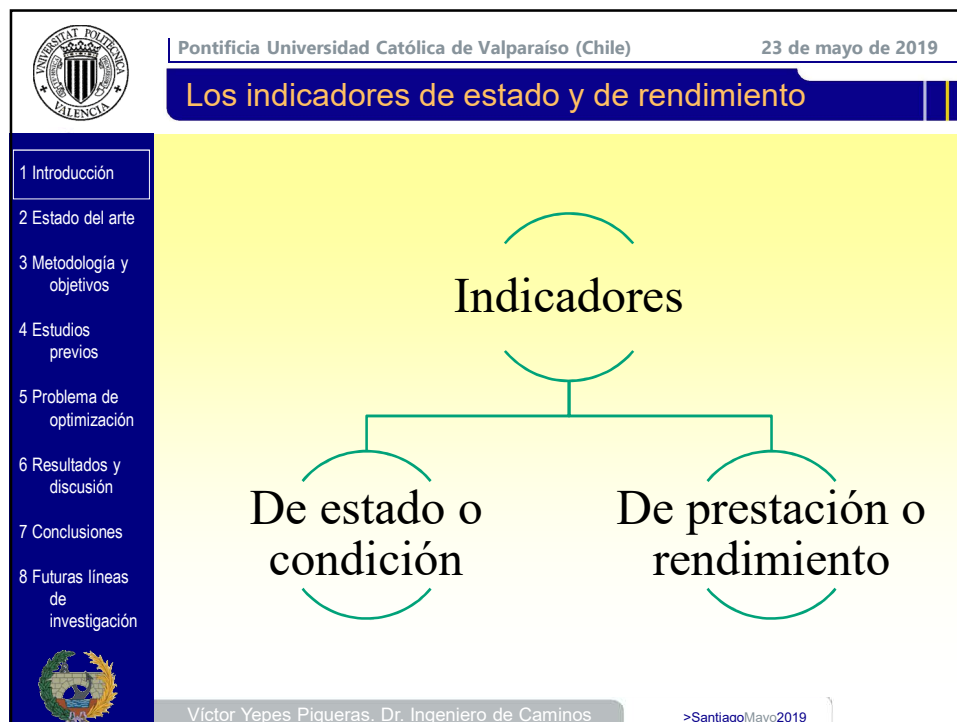
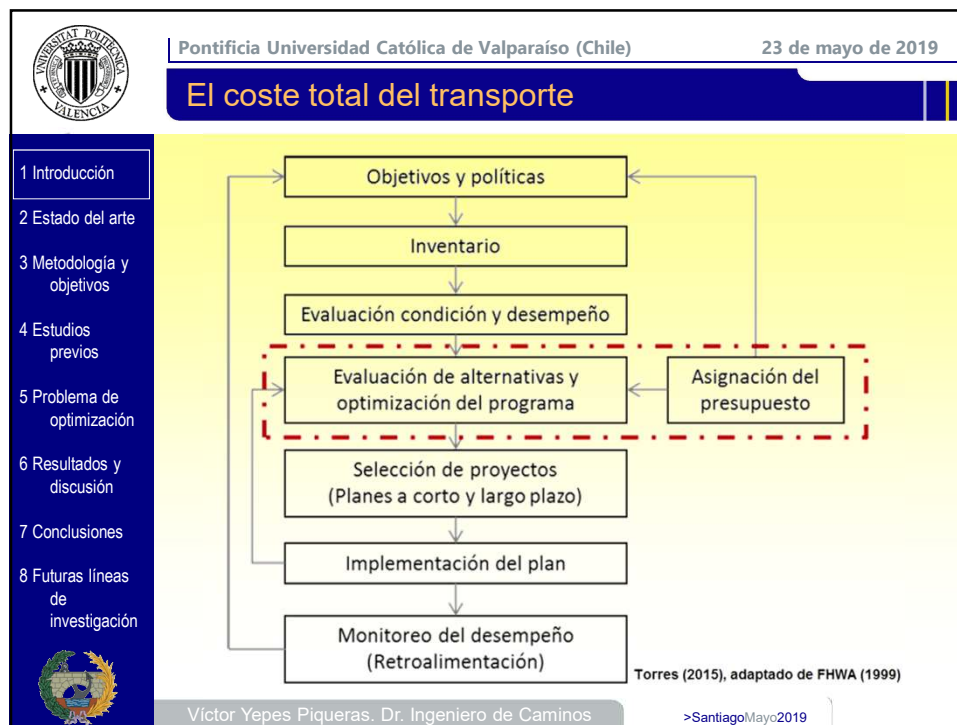


¿Es posible realizar una gestión sostenible del mantenimiento de las carreteras y los puentes cuando los presupuestos son restrictivos?

Victor Yepes Piqueras. Dr. Ingeniero de Caminos

>SantiagoMayo2019





Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile) 23 de mayo de 2019

Evaluación técnica de una carretera

1 Introducción
2 Estado del arte
3 Metodología y objetivos
4 Estudios previos
5 Problema de optimización
6 Resultados y discusión
7 Conclusiones
8 Futuras líneas de investigación

```

graph TD
    A[Evaluación técnica de una carretera] --> B[Evaluación funcional]
    A --> C[Evaluación estructural]
    B --> D[Nivel de servicio]
    B --> E[Seguridad]
    C --> F[Capacidad de soporte]
  
```

Victor Yepes Piqueras. Dr. Ingeniero de Caminos >SantiagoMayo2019

Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile) 23 de mayo de 2019

Evaluación técnica de una carretera

1 Introducción
2 Estado del arte
3 Metodología y objetivos
4 Estudios previos
5 Problema de optimización
6 Resultados y discusión
7 Conclusiones
8 Futuras líneas de investigación

```

graph TD
    A[Evaluación de pavimentos] --> B[tipo de auscultación]
    B --> C[Evaluación funcional]
    B --> D[Evaluación estructural]
    C --> E[función]
    C --> F[característica a medir]
    E --> G[Nivel de servicio]
    E --> H[Seguridad]
    F --> I[Regularidad superficial]
    F --> J[Textura]
    F --> K[Resistencia al deslizamiento]
    I --> L[Indicadores]
    L --> M[IRI]
    L --> N[PSI]
    L --> O[PRS]
    J --> P[Indicadores]
    P --> Q[macrotextura]
    P --> R[microtextura]
    K --> S[Indicadores]
    S --> T[Coefficiente de fricción]
    S --> U[IFI]
    D --> V[función]
    D --> W[característica a medir]
    V --> X[Capacidad de soporte]
    W --> Y[Propiedades mecánicas]
    W --> Z[Deterioro superficial]
    Y --> AA[Indicadores]
    AA --> AB[Deflexiones]
    AA --> AC[Deformaciones]
    Z --> AD[Indicadores]
    AD --> AE[Agrietamientos]
    AD --> AF[Defectos superficiales]
    AD --> AG[Deformaciones del pavimento]
  
```

Victor Yepes Piqueras. Dr. Ingeniero de Caminos >SantiagoMayo2019

Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile) 23 de mayo de 2019

Programa de conservación

1 Introducción

2 Estado del arte

3 Metodología y objetivos

4 Estudios previos

5 Problema de optimización

6 Resultados y discusión

7 Conclusiones

8 Futuras líneas de investigación

¿Qué activo tratar?

Activo

n_1

...

n_N

¿Cómo tratarlo?

Tratamientos

$P+M+R_1$

...

$P+M+R_S$

¿Cuándo tratarlo?

Tiempo

t_1

...

t_T

Torres-Machí (2015)

Víctor Yepes Piqueras. Dr. Ingeniero de Caminos >SantiagoMayo2019

Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile) 23 de mayo de 2019

Programa de conservación

1 Introducción

2 Estado del arte

3 Metodología y objetivos

4 Estudios previos

5 Problema de optimización

6 Resultados y discusión

7 Conclusiones

8 Futuras líneas de investigación

Activo	Año 1	Año 2		Año T
1	0	1	Tratamientos 0, 1, 2, ..., S	4
2	1	2		2
...	0	2		2
N	1	0		4

$S^{(N-T)}$ soluciones

Torres-Machí (2015)

Víctor Yepes Piqueras. Dr. Ingeniero de Caminos >SantiagoMayo2019



Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile)

23 de mayo de 2019

Puentes en cajón

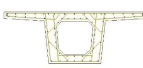
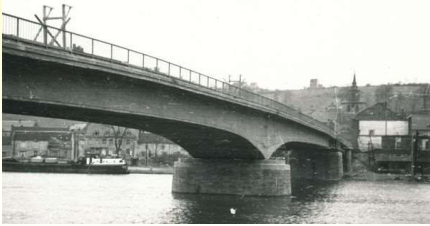
- 1 Introducción
- 2 Estado del arte
- 3 Metodología y objetivos
- 4 Estudios previos
- 5 Problema de optimización
- 6 Resultados y discusión
- 7 Conclusiones
- 8 Futuras líneas de investigación

Tipología más ampliamente utilizada en puentes (Schlaich y Scheef, 1982)

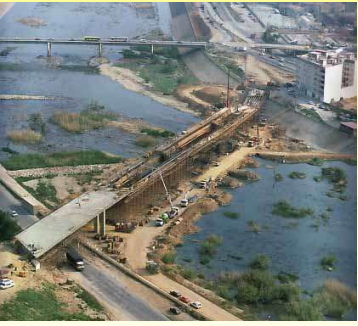
- Reducido peso propio
- Resistencia a flectores positivos y negativos
- Buen comportamiento a torsión

Monocelular de canto constante

- Luces inferiores a 70 m
- Ancho inferior a 20 m
- $h/L \approx 1/20$, e incluso $1/25$

Puente de Sclayn, río Maas, Bélgica (Gustave Magnel, 1948). Dos tramos de 62,7 m



Estructura sobre nuevo cauce del Turia (Javier Manterola, 1991)

- Sección en cajón, canto variable (3.20-2.00 m)
- 310 m longitud, luz máxima 72 m
- Sección 15 m anchura (3 carriles)
- Hormigón H-400, pretensado armaduras postesas

>SantiagoMayo2019

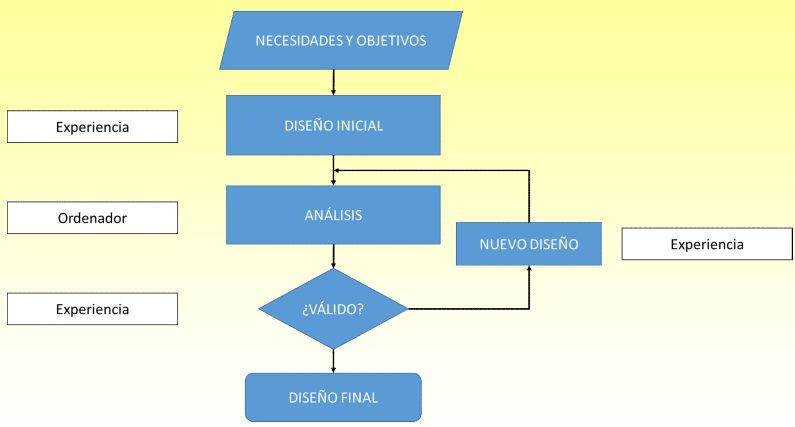


Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile)

23 de mayo de 2019

Diseño tradicional

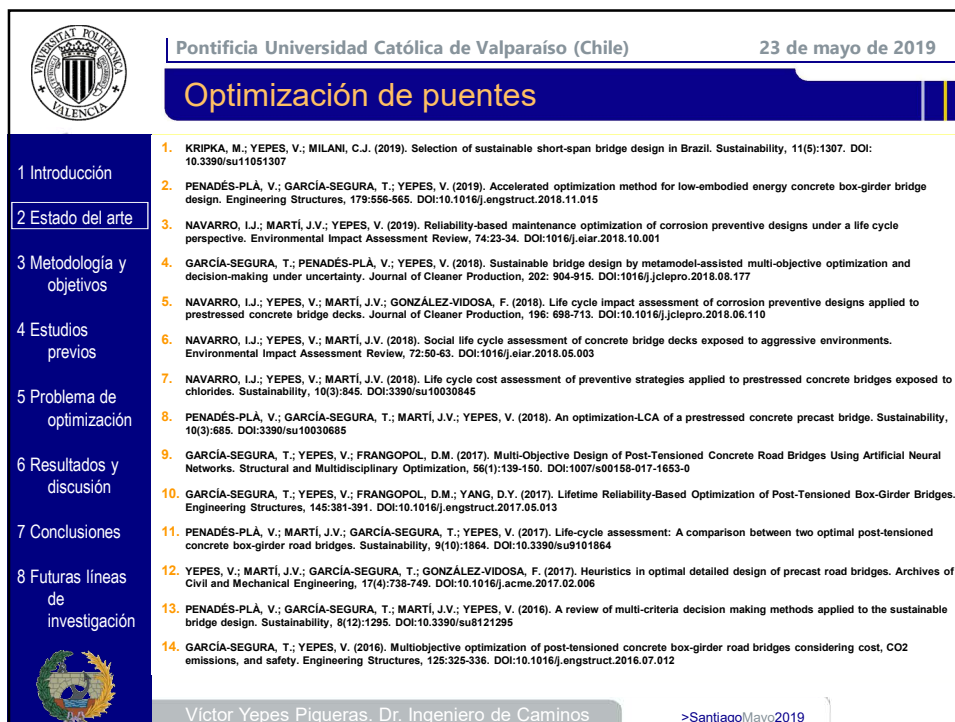
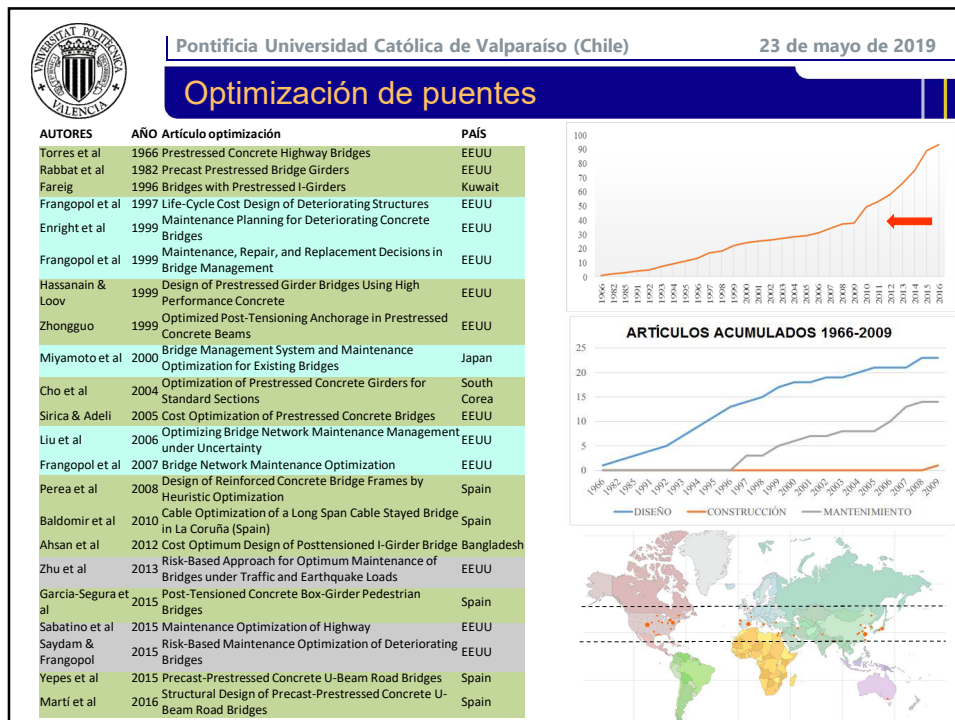
- 1 Introducción
- 2 Estado del arte
- 3 Metodología y objetivos
- 4 Estudios previos
- 5 Problema de optimización
- 6 Resultados y discusión
- 7 Conclusiones
- 8 Futuras líneas de investigación



```

graph TD
    A[/NECESIDADES Y OBJETIVOS/] --> B[DISEÑO INICIAL]
    B --> C[ANÁLISIS]
    C --> D{¿VÁLIDO?}
    D -- Sí --> E[DISEÑO FINAL]
    D -- No --> F[NUEVO DISEÑO]
    F --> C
  
```

>SantiagoMayo2019





Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile)

23 de mayo de 2019

Optimización de puentes

- 1 Introducción
- 2 Estado del arte
- 3 Metodología y objetivos
- 4 Estudios previos
- 5 Problema de optimización
- 6 Resultados y discusión
- 7 Conclusiones
- 8 Futuras líneas de investigación

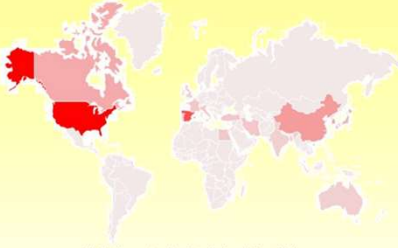
Índice de productividad: $IP = \log_{10} n$
(Marmaneu, 2016)

PAIS	ARTÍCULOS PUBLICADOS	IP
EEUU	30	1,477
Spain	18	1,255

Índice de productividad (IP) - Países más productores

GRUPO DE INVESTIGACIÓN	ARTÍCULOS PUBLICADOS	IP
Valencia	14	1,146
Colorado	10	1,000
Pensilvania	8	0,903

Índice de productividad (IP) – Grupos de investigación más productores



Distribución por países del conjunto de todos artículos estudiados

INDICE PRODUCTIVIDAD	TOTAL AUTORES	%
$IP=0$	39	26,53
$0 < IP < 1$	105	71,43
$IP \geq 1$	3	2,04

Porcentaje de autores según índice de productividad



Víctor Yepes Piqueras. Dr. Ingeniero de Caminos

>SantiagoMayo2019

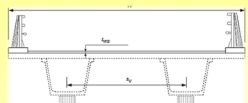
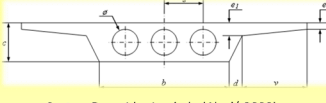


Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile)

23 de mayo de 2019

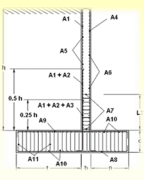
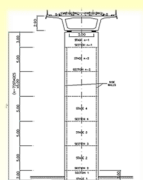
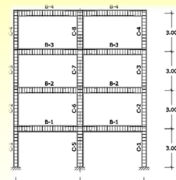
Criterios - Algoritmos

- 1 Introducción
- 2 Estado del arte
- 3 Metodología y objetivos
- 4 Estudios previos
- 5 Problema de optimización
- 6 Resultados y discusión
- 7 Conclusiones
- 8 Futuras líneas de investigación

Coste – Recocido simulado (Martí et al. 2013)
Emisiones CO₂ – Enjambre de luciérnagas (Yepes et al. 2015)
Energía – Recocido simulado híbrido (Martí et al. 2016)

Coste – Recocido simulado (Alcalá 2009)

Coste – Recocido simulado (Yepes et al. 2008)
Emisiones CO₂ – Aceptación por umbrales (Yepes et al. 2010)

Coste, impacto ambiental, facilidad constructiva, seguridad estructural – Recocido simulado multiobjetivo (Payá et al. 2008)
Emisiones CO₂ – Recocido simulado (Payá et al. 2009)
Coste – Recocido simulado (Payá et al. 2010)



Víctor Yepes Piqueras. Dr. Ingeniero de Caminos

>SantiagoMayo2019

Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile) 23 de mayo de 2019

Sostenibilidad

1 Introducción
2 Estado del arte
3 Metodología y objetivos
4 Estudios previos
5 Problema de optimización
6 Resultados y discusión
7 Conclusiones
8 Futuras líneas de investigación

Construcción consume:
2/5 áridos
1/4 madera
2/5 energía
1/6 agua
(Lippiatt, 1999; Chong et al., 2009)

Victor Yepes Piqueras. Dr. Ingeniero de Caminos >SantiagoMayo2019

Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile) 23 de mayo de 2019

Metodología y objetivos

1 Introducción
2 Estado del arte
3 Metodología y objetivos
4 Estudios previos
5 Problema de optimización
6 Resultados y discusión
7 Conclusiones
8 Futuras líneas de investigación

Estado del arte

- Puentes en cajón
- Optimización heurística
- Sostenibilidad
- Decisión multiobjetivo y multicriterio

Estudios previos

- Material
- Criterios
- Algoritmos heurísticos
- Toma de decisiones

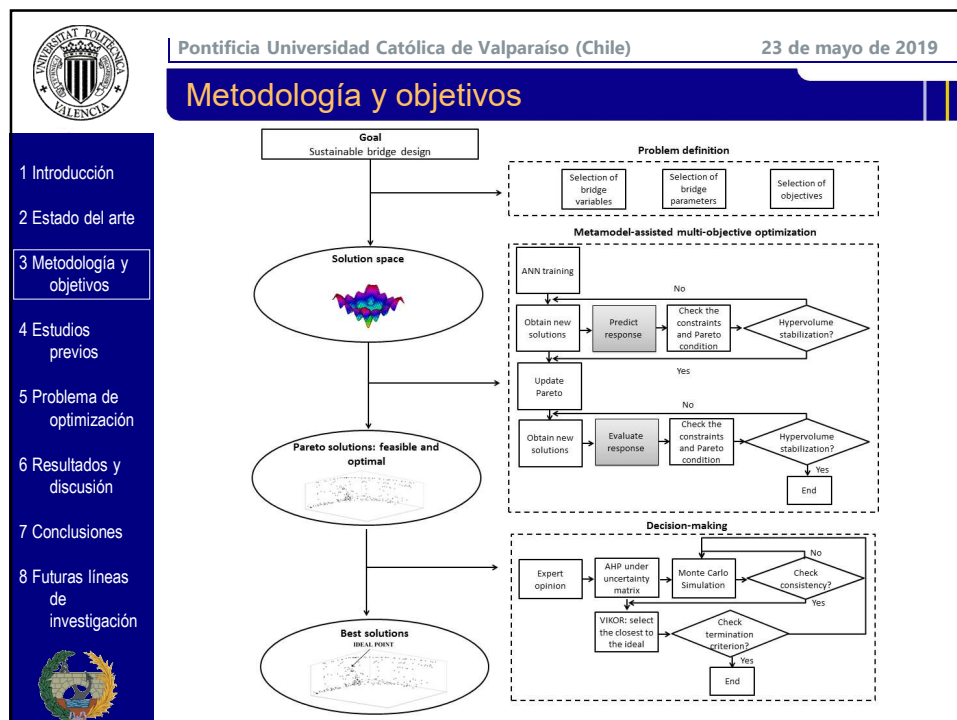
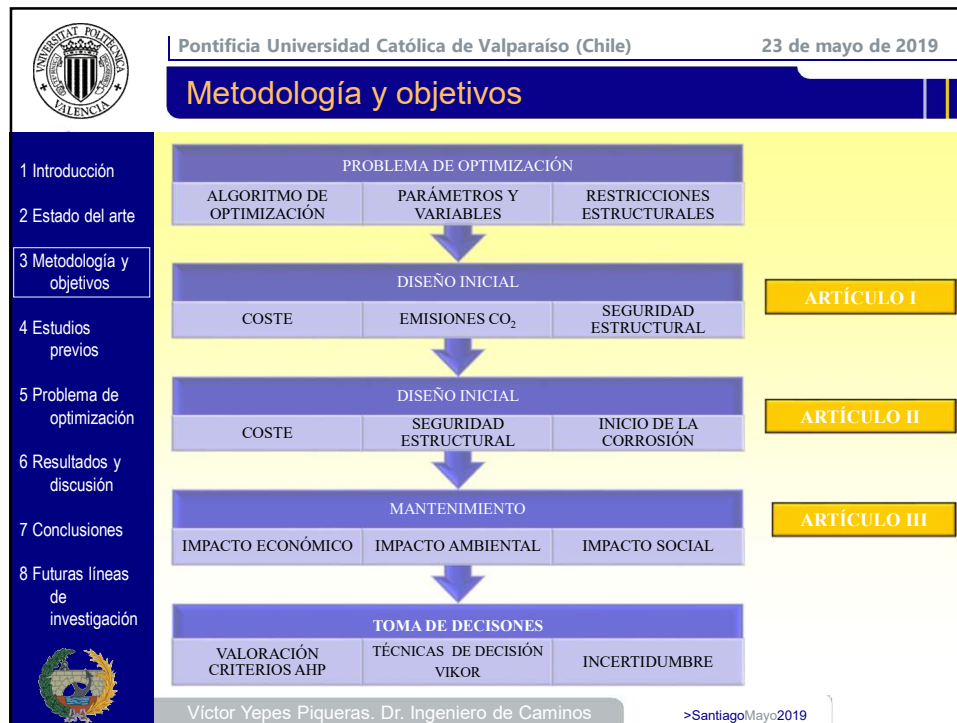
Optimización multiobjetivo de puentes en cajón

- Diseño basado en coste, CO₂, seguridad e inicio de la corrosión
- Plan de mantenimiento basado en economía, sostenibilidad e impactos ambientales

Herramientas complementarias

- Metamodelos para reducir el tiempo de cálculo
- Técnicas de toma de decisiones para seleccionar las soluciones preferentes

Victor Yepes Piqueras. Dr. Ingeniero de Caminos >SantiagoMayo2019





Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile)

23 de mayo de 2019

Estudios previos

- 1 Introducción
- 2 Estado del arte
- 3 Metodología y objetivos
- 4 Estudios previos
- 5 Problema de optimización
- 6 Resultados y discusión
- 7 Conclusiones
- 8 Futuras líneas de investigación

1. Emisiones de gases de efecto invernadero durante el ciclo de vida del hormigón fabricado con cemento con adiciones que incluyen la carbonatación y durabilidad

GARCÍA-SEGURA, T.; YEPES, V.; ALCALÁ, J. (2014). **Life-cycle greenhouse gas emissions of blended cement concrete including carbonation and durability.** *International Journal of Life Cycle Assessment*, 19(1):3-12. IF(2014)=3,988. **D1 Web of Science.**

Int J Life Cycle Assess (2014) 19:3–12
DOI 10.1007/s11367-013-0464-6

BUILDING COMPONENTS AND BUILDINGS

Life cycle greenhouse gas emissions of blended cement concrete including carbonation and durability

Tatiana García-Segura · Víctor Yepes · Julián Alcalá

Received: 14 November 2012 / Accepted: 11 June 2013 / Published online: 4 July 2013
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013

- ✓ La etapa con mayor emisión CO₂ es la fabricación del cemento Portland y la menor es la construcción
- ✓ La carbonatación durante el uso reduce las emisiones en un 22%
- ✓ La reutilización del hormigón como grava para relleno completa la carbonatación gracias a su mayor superficie de exposición
- ✓ A pesar de la reducción de durabilidad y menor captura de CO₂, los cementos con adiciones resultan beneficiosos desde el punto de vista ambiental

Victor Yepes Piqueras. Dr. Ingeniero de Caminos

>SantiagoMayo2019





Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile)

23 de mayo de 2019

Estudios previos

- 1 Introducción
- 2 Estado del arte
- 3 Metodología y objetivos
- 4 Estudios previos
- 5 Problema de optimización
- 6 Resultados y discusión
- 7 Conclusiones
- 8 Futuras líneas de investigación

2. Optimización de vigas en doble T mediante un algoritmo híbrido de enjambre de luciérnagas

GARCÍA-SEGURA, T.; YEPES, V.; MARTÍ, J.V.; ALCALÁ, J. (2014). **Optimization of concrete I-beams using a new hybrid glowworm swarm algorithm.** *Latin American Journal of Solids and Structures*, 11(7):1190 – 1205. IF(2014)=1,272. **Q2 Web of Science.**

Latin American Journal of Solids and Structures
www.lajss.org

Optimization of concrete I-beams using a new hybrid glowworm swarm algorithm

Abstract
In this paper a new hybrid glowworm swarm algorithm (SAGSO) for solving structural optimization problems is presented. The structure proposed to be optimized here is a simply-supported concrete I-beam defined by 30 variables. Eight different concrete

Tatiana García-Segura^a
Víctor Yepes^{b, *}
José V. Martí^c
Julián Alcalá^d

- ✓ Hormigón autocompactante no reduce las emisiones de CO₂
- ✓ La optimización de las emisiones busca secciones con mayor canto, hormigón convencional de menor resistencia y reducción de acero
- ✓ SAGSO obtiene mejores resultados que ambos algoritmos por separado. Sin embargo, dos problemas: elevado número de parámetros y tiempo de cálculo

Victor Yepes Piqueras. Dr. Ingeniero de Caminos

>SantiagoMayo2019





Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile)

23 de mayo de 2019

Estudios previos

- 1 Introducción
- 2 Estado del arte
- 3 Metodología y objetivos
- 4 Estudios previos
- 5 Problema de optimización
- 6 Resultados y discusión
- 7 Conclusiones
- 8 Futuras líneas de investigación

3. Optimización del coste y emisiones de CO₂ de tableros de puentes de vigas artesa prefabricadas mediante un algoritmo híbrido de enjambre de luciérnagas

YEPES, V.; MARTÍ, J.V.; GARCÍA-SEGURA, T. (2015). **Cost and CO₂ emission optimization of precast-prestressed concrete U-beam road bridges by a hybrid glowworm swarm algorithm. *Automation in Construction*, 49:123-134. IF(2015)=2,442. D1 Web of Science.**



Automation in Construction 49 (2015) 123–134

Contents lists available at ScienceDirect

Automation in Construction

Journal homepage: www.elsevier.com/locate/aiconstr



Cost and CO₂ emission optimization of precast-prestressed concrete U-beam road bridges by a hybrid glowworm swarm algorithm

Victor Yepes^a, José V. Martí, Tatiana García-Segura

^a Institute of Concrete Science and Technology (ICITECH), Universidad Politécnica de Valencia, 46102 Valencia, Spain

- ✓ La optimización del coste y de las emisiones están muy relacionadas. Las soluciones más ecológicas apenas encarecen el coste
- ✓ Reducir 1 € equivale a ahorrar 1,75 kg CO₂
- ✓ La optimización del CO₂ encuentra las mejores soluciones en tableros que utilizan más hormigón de menor resistencia, así como mayor cuantía de pasiva en vigas y menor en losa



Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile)

23 de mayo de 2019

Estudios previos

- 1 Introducción
- 2 Estado del arte
- 3 Metodología y objetivos
- 4 Estudios previos
- 5 Problema de optimización
- 6 Resultados y discusión
- 7 Conclusiones
- 8 Futuras líneas de investigación

4. Diseño de puentes de vigas artesa prefabricadas y pretensadas basado en criterios energéticos

MARTÍ, J.V.; GARCÍA-SEGURA, T.; YEPES, V. (2016). **Structural design of precast-prestressed concrete U-beam road bridges based on embodied energy. *Journal of Cleaner Production*, 120:231-240. IF(2016)=5,715. D1 Web of Science.**



Journal of Cleaner Production 120 (2016) 231–240

Contents lists available at ScienceDirect

Journal of Cleaner Production

Journal homepage: www.elsevier.com/locate/jclepro



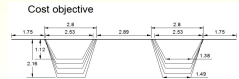
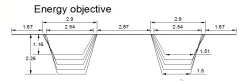
Structural design of precast-prestressed concrete U-beam road bridges based on embodied energy

José V. Martí, Tatiana García-Segura, Victor Yepes^a

^a Institute of Concrete Science and Technology (ICITECH), Universidad Politécnica de Valencia, 46102 Valencia, Spain

- ✓ Cada euro que se reduce, se disminuye la energía consumida en 4 kWh
- ✓ La optimización de la energía sólo encarece el coste medio en 3,23 €/m² de puente
- ✓ No se aprecian diferencias en cuanto a la resistencia del hormigón si se optimiza el coste o la energía

>SantiagoMayo2019



Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile) 23 de mayo de 2019

Estudios previos

1 Introducción

2 Estado del arte

3 Metodología y objetivos

4 Estudios previos

5 Problema de optimización

6 Resultados y discusión

7 Conclusiones

8 Futuras líneas de investigación

5. Utilización del algoritmo híbrido de búsqueda de la armonía para el diseño sostenible de pasarelas postesadas de sección en cajón

GARCÍA-SEGURA, T.; YEPES, V.; ALCALÁ, J.; PÉREZ-LÓPEZ, E. (2015). **Hybrid harmony search for sustainable design of post-tensioned concrete box-girder pedestrian bridges**. *Engineering Structures*, 92:112-122. IF(2015)=1,893. Q1 Web of Science.



Engineering Structures
Journal homepage: www.elsevier.com/locate/engstruct

Hybrid harmony search for sustainable design of post-tensioned concrete box-girder pedestrian bridges
Tatiana García-Segura^a, Víctor Yepes^{a,*}, Julián Alcalá^a, Eloy Pérez-López^b

^a Institute of Concrete Science and Technology (ICTEC), Universidad Pontificia de Valparaíso, 46022 Valparaíso, Spain
^b Institute of Concrete Science and Technology (ICTEC), Universidad Pontificia de Valparaíso, 46022 Valparaíso, Spain

- ✓ El algoritmo híbrido obtiene buenos resultados. La búsqueda local mejora en un 8% el algoritmo puro
- ✓ La optimización de las emisiones también garantiza buenos resultados en coste. Reducir las emisiones en un 1% aumenta el coste en un 2%
- ✓ Para reducir las emisiones:
 - ✓ Se aumenta el canto
 - ✓ Más acero de pretensado
 - ✓ Menor resistencia característica del hormigón

Victor Yepes Piqueras. Dr. Ingeniero de Caminos

>SantiagoMayo2019



Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile) 23 de mayo de 2019

Estudios previos

1 Introducción

2 Estado del arte

3 Metodología y objetivos

4 Estudios previos

5 Problema de optimización

6 Resultados y discusión

7 Conclusiones

8 Futuras líneas de investigación

6. Enfoque cognitivo en la optimización multiobjetivo de estructuras de hormigón armado

YEPES, V.; GARCÍA-SEGURA, T.; MORENO-JIMÉNEZ, J.M. (2015). **A cognitive approach for the multi-objective optimization of RC structural problems**. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 15(4):1024-1036. DOI:10.1016/j.acme.2015.05.001. IF(2015)=2,194. Q1 Web of Science.



Archives of Civil and Mechanical Engineering 15 (2015) 1024–1036
Available online at www.sciencedirect.com
ScienceDirect
Journal homepage: <http://www.elsevier.com/locate/acme>

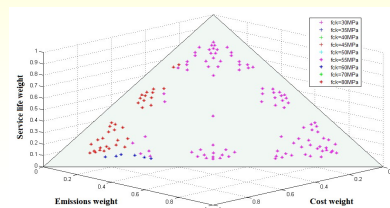
Original Research Article
A cognitive approach for the multi-objective optimization of RC structural problems
V. Yepes^{a,*}, T. García-Segura^a, J.M. Moreno-Jiménez^b

^a Institute of Concrete Science and Technology (ICTEC), Universidad Pontificia de Valparaíso, 46022 Valparaíso, Spain
^b Grupo Diseño Multibienestar Zaragoza (GDMZ), Universidad de Zaragoza, Zaragoza, Spain

- ✓ Las soluciones de compromiso son las soluciones más cercanas al ideal en base a unos pesos que provienen de las matrices aleatorias de AHP
- ✓ Las 299 soluciones de Pareto se reducen a 7 soluciones de compromiso. Todas usan hormigón de alta resistencia
- ✓ En el último paso el experto aporta sus preferencias mediante la matriz AHP

Victor Yepes Piqueras. Dr. Ingeniero de Caminos

>SantiagoMayo2019





Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile)

23 de mayo de 2019

Estudios previos

1 Introducción 2 Estado del arte 3 Metodología y objetivos 4 Estudios previos 5 Problema de optimización 6 Resultados y discusión 7 Conclusiones 8 Futuras líneas de investigación	MATERIALES CRITERIOS CICLO DE VIDA ALGORITMOS DE OPTIMIZACIÓN TOMA DE DECISIONES ✓ Uso de hormigón de alta resistencia ✓ Coste, emisiones CO₂, vida útil ✓ Cuna a la tumba incluyendo carbonatación durante uso ✓ Búsqueda de la armonía. Diversificación/Intensificación ✓ AHP-minimización de la distancia
---	--



Victor Yepes Piqueras. Dr. Ingeniero de Caminos

>SantiagoMayo2019



Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile)

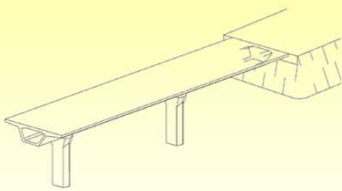
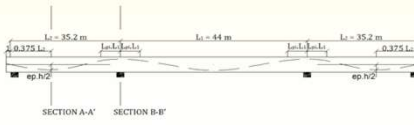
23 de mayo de 2019

Problema de optimización

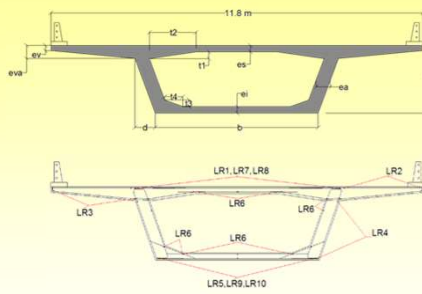
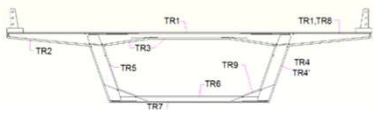
Parámetros (26)

Ancho 11,8 m

Longitud 114,4 m (35,2-44-35,2)

Variables (33-34)



Victor Yepes Piqueras. Dr. Ingeniero de Caminos

>SantiagoMayo2019



Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile)

23 de mayo de 2019

Algoritmo

1 Introducción

2 Estado del arte

3 Metodología y objetivos

4 Estudios previos

5 Problema de optimización

6 Resultados y discusión

7 Conclusiones

8 Futuras líneas de investigación

Algoritmo multiobjetivo de búsqueda de la armonía. Multiobjective Harmony search

El músico

Notas memorizadas

Notas memorizadas con un ligero cambio

Notas aleatorias

←→

←→

←→

El algoritmo

Valores memorizados en matriz HM

Valores memorizados con un ligero cambio

Valores aleatorios

$$HM = \left(\begin{array}{ccc|c} x_1^1 & \dots & x_n^1 & f(x^1) \\ \vdots & & \vdots & \vdots \\ x_1^{HMS} & \dots & x_n^{HMS} & f(x^{HMS}) \end{array} \right)$$

Victor Yepes Piqueras. Dr. Ingeniero de Caminos >SantiagoMayo2019



Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile)

23 de mayo de 2019

Algoritmo

1 Introducción

2 Estado del arte

3 Metodología y objetivos

4 Estudios previos

5 Problema de optimización

6 Resultados y discusión

7 Conclusiones

8 Futuras líneas de investigación

HMS=50

HMCR=0.70

PAR=0.40

IWI=10

```

graph TD
    S1[Step 1- Assignment of the algorithm parameters] --> P1[HMS, HMCR, PAR, IWI]
    S2[Step 2- Memory initialization] --> P2[HM]
    S3[Step 3- Improvisation of a new solution] --> D1{ran ≥ HMCR}
    D1 -- Yes --> P3[x' ∈ x_i]
    D1 -- No --> D2{ran < HMCR}
    D2 -- Yes --> P4[x' ∈ {x_1^1, x_2^1, ..., x_n^{HMS}}]
    D2 -- No --> D3{ran ≥ PAR}
    D3 -- Yes --> P5[x'_i = x_i]
    D3 -- No --> D4{ran ≥ 0.5}
    D4 -- Yes --> P6[x'_i = x_i + 1]
    D4 -- No --> D5{ran < PAR}
    D5 -- Yes --> P7[x'_i = x_i + 1]
    D5 -- No --> D6{ran < 0.5}
    D6 -- Yes --> P8[x'_i = x_i - 1]
    D6 -- No --> D7{i = i + 1}
    D7 -- Yes --> D8{Length(NHM) = HMS?}
    D8 -- Yes --> S4[Step 4- Harmony memory matrix update]
    D8 -- No --> D9{i = 1}
    D9 -- Yes --> S4
    D9 -- No --> S3
    S4 --> P9[H_u (HM ∪ NHM)]
    P9 --> S5[Ranking assignment rank(ξ) = 1 + n_d]
    S5 --> D10{m = 1}
    D10 -- Yes --> D11{space(HM) ≥ size(rank=m)}
    D11 -- Yes --> S6[fill HM with solutions of H_u with rank=m m=m+1]
    D11 -- No --> S7[Crowding distance evaluation]
    S7 --> P10[d_{j^m} = d_{j^m} + (f_{j^m}^{max} - f_{j^m}^{min}) / (f_{j^m}^{max} - f_{j^m}^{min})]
    P10 --> S8[fill HM with the solutions with the greatest values of crowding distance]
    S8 --> S9[Step 5- Termination criterion]
    S9 -- Yes --> End[End]
    S9 -- No --> S3
    
```

Victor Yepes Piqueras. Dr. Ingeniero de Caminos >SantiagoMayo2019



Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile)

23 de mayo de 2019

Algoritmo

- 1 Introducción
- 2 Estado del arte
- 3 Metodología y objetivos
- 4 Estudios previos
- 5 Problema de optimización
- 6 Resultados y discusión
- 7 Conclusiones
- 8 Futuras líneas de investigación

Funciones objetivo

- Coste
- Emisiones CO₂
- Vida útil – Inicio de la corrosión
- Coeficiente de seguridad estructural
- Mantenimiento:
 - Impacto económico: coste mantenimiento
 - Impacto ambiental: emisiones mantenimiento
 - Impacto social: coste y emisiones CO₂ asociadas a la interrupción del tráfico



Victor Yepes Piqueras. Dr. Ingeniero de Caminos

>SantiagoMayo2019



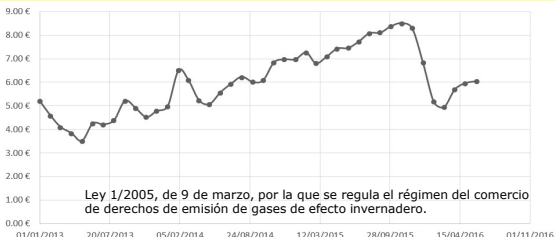
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile)

23 de mayo de 2019

Funciones objetivo

- 1 Introducción
- 2 Estado del arte
- 3 Metodología y objetivos
- 4 Estudios previos
- 5 Problema de optimización
- 6 Resultados y discusión
- 7 Conclusiones
- 8 Futuras líneas de investigación

Coste

$$C(\vec{x}) = \sum_{i=1,rc} p_i \cdot m_i(\vec{x})$$


Ley 1/2005, de 9 de marzo, por la que se regula el régimen del comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero.

Producción de las materias primas y transporte a la planta de hormigón	Producción del material y transporte a obra	Actividades de construcción	Uso
•Cemento •Agua •Plastificante •Áridos gruesos •Áridos finos •Humo de sílice	•Hormigón •Armaduras pasivas •Armaduras activas •Encofrado	•Vertido y vibrado del hormigón •Colocación de armaduras •Colocación del encofrado	•Carbonatación •Tareas de mantenimiento directo •Hidrodemolición •Lechada adherente •Mortero de reparación •Tareas de mantenimiento indirecto



Victor Yepes Piqueras. Dr. Ingeniero de Caminos

>SantiagoMayo2019



Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile)

23 de mayo de 2019

Funciones objetivo

- 1 Introducción
- 2 Estado del arte
- 3 Metodología y objetivos
- 4 Estudios previos
- 5 Problema de optimización
- 6 Resultados y discusión
- 7 Conclusiones
- 8 Futuras líneas de investigación

Emisiones de CO₂

$$E(x) = \sum_{i=1,2e} e_i \cdot m_i(\bar{x}) - C_{CO_2}(\bar{x})$$

Fracción molar
CO₂/CaO = 0,79

$$C_{CO_2}(\bar{x}) = k(\bar{x}) \cdot \sqrt{T(\bar{x})} + c(\bar{x}) \cdot CaO \cdot p \cdot A(\bar{x}) \cdot M$$

Coeficiente de carbonatación

0,65

0,75

Unit measurements	Cost (€)	Emission (kg CO ₂)
m ³ of formwork	33.81	2.08
kg of steel (B-500-S)	1.16	3.03
kg of prestressing steel (Y1860-S7)	3.40	5.64
m ³ of concrete HP-35	104.57	321.92
m ³ of concrete HP-40	109.33	338.90
m ³ of concrete HP-45	114.10	355.88
m ³ of concrete HP-50	118.87	372.86
m ³ of concrete HP-55	123.64	389.84
m ³ of concrete HP-60	128.41	406.82
m ³ of concrete HP-70	137.55	440.78
m ³ of concrete HP-80	147.49	474.74
m ³ of concrete HP-90	157.02	508.70
m ³ of concrete HP-100	166.56	542.66
t CO ₂ emission	5.00	

Unit	k exposed to rain (mm/year ^{0.5})	k protected from rain (mm/year ^{0.5})	Cement (kg/m ³)
m ³ of concrete HP-35	1.50	3.01	300
m ³ of concrete HP-40	1.25	2.50	320
m ³ of concrete HP-45	1.05	2.11	350
m ³ of concrete HP-50	0.90	1.81	400
m ³ of concrete HP-55	0.79	1.57	457
m ³ of concrete HP-60	0.69	1.38	485
m ³ of concrete HP-70	0.55	1.09	493
m ³ of concrete HP-80	0.45	0.89	497
m ³ of concrete HP-90	0.37	0.74	517
m ³ of concrete HP-100	0.31	0.63	545

Victor Yepes Piqueras. Dr. Ingeniero de Caminos >SantiagoMayo2019



Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile)

23 de mayo de 2019

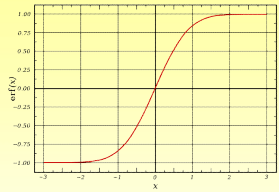
Funciones objetivo

- 1 Introducción
- 2 Estado del arte
- 3 Metodología y objetivos
- 4 Estudios previos
- 5 Problema de optimización
- 6 Resultados y discusión
- 7 Conclusiones
- 8 Futuras líneas de investigación

Vida útil – Inicio de la corrosión

$$C(x, t) = C_o \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{tD}} \right) \right]$$

Coeficiente de difusión aparente





Victor Yepes Piqueras. Dr. Ingeniero de Caminos >SantiagoMayo2019



Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile)

23 de mayo de 2019

Funciones objetivo

- 1 Introducción
- 2 Estado del arte
- 3 Metodología y objetivos
- 4 Estudios previos
- 5 Problema de optimización
- 6 Resultados y discusión
- 7 Conclusiones
- 8 Futuras líneas de investigación

Coeficiente de seguridad estructural

$$S(\vec{x}) = \text{Minimum } \gamma_j(\vec{x})$$

Resistencia de cálculo/Acciones de cálculo



Victor Yepes Piqueras. Dr. Ingeniero de Caminos

>SantiagoMayo2019



Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile)

23 de mayo de 2019

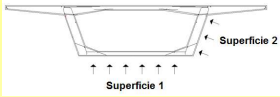
Funciones objetivo

- 1 Introducción
- 2 Estado del arte
- 3 Metodología y objetivos
- 4 Estudios previos
- 5 Problema de optimización
- 6 Resultados y discusión
- 7 Conclusiones
- 8 Futuras líneas de investigación

Mantenimiento

Coste mantenimiento

Emissiones mantenimiento

$$C_{ms} = \sum_{j=1}^{Nms1} \frac{C_{ms1j}}{(1+v)^{t_j}} + \sum_{j=1}^{Nms2} \frac{C_{ms2j}}{(1+v)^{t_j}}$$


$$C_{msij} = ((C_{wb} + C_{rm}) * V_{csi} + (C_{bc} + C_{tp}) * A_{si})$$

$$E_{ms} = \sum_{j=1}^{Nms1} E_{ms1j} + \sum_{j=1}^{Nms2} E_{ms2j}$$

$$E_{msij} = ((E_{wb} + E_{rm}) * V_{csi} + (E_{bc} + E_{tp}) * A_{si})$$

Uso

- Carbonatación
- Tareas de mantenimiento directo
- Hidrodemolición
- Lechada adherente
- Mortero de reparación
- Tareas de mantenimiento indirecto

Victor Yepes Piqueras. Dr. Ingeniero de Caminos

>SantiagoMayo2019



Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile)

23 de mayo de 2019

Funciones objetivo

1 Introducción

2 Estado del arte

3 Metodología y objetivos

4 Estudios previos

5 Problema de optimización

6 Resultados y discusión

7 Conclusiones

8 Futuras líneas de investigación

Mantenimiento

Coste y emisiones asociadas a la interrupción del tráfico

$$TC_{ms} = C_{ms} + C_s$$

$$TE_{ms} = E_{ms} + E_s$$

$$C_s = C_{run} + C_{time}$$

$$C_{run} = \sum_{i=1}^{Nm} \left[C_{run,cars} \left(1 - \frac{T_{truck}}{100} \right) + C_{run,truck} \left(\frac{T_{truck}}{100} \right) \right] \frac{L_{detour} T_{detour} A_{DT}}{(1+v)^t}$$

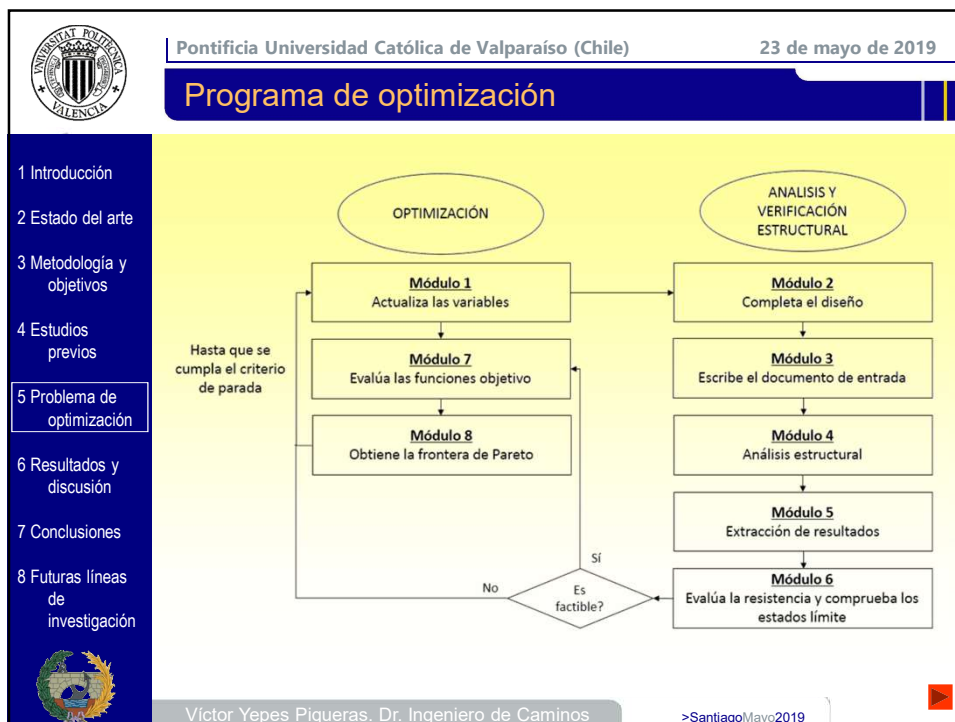
$$C_{time} = \sum_{i=1}^{Nm} \left[C_{wage} O_{cars} \left(1 - \frac{T_{truck}}{100} \right) + (C_{driver} O_{truck} + C_{cargo}) \frac{T_{truck}}{100} \right] \frac{L_{detour} T_{detour} A_{DT} / S}{(1+v)^t}$$

$$E_s = E_{run} = \sum_{i=1}^{Nm} \left[E_{run,cars} \left(1 - \frac{T_{truck}}{100} \right) + E_{run,truck} \left(\frac{T_{truck}}{100} \right) \right] L_{detour} T_{detour} A_{DT}$$

Victor Yepes Piqueras. Dr. Ingeniero de Caminos

>SantiagoMayo2019







Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile) 23 de mayo de 2019

Resultados y discusión

Optimización multiobjetivo del coste, emisiones de CO₂ y seguridad estructural

1 Introducción

2 Estado del arte

3 Metodología y objetivos

4 Estudios previos

5 Problema de optimización

6 Resultados y discusión

7 Conclusiones

8 Futuras líneas de investigación

GARCÍA-SEGURA, T.; YEPES, V. (2016). Multiobjective optimization of post-tensioned concrete box-girder road bridges considering cost, CO₂ emissions, and safety. *Engineering Structures*, 125:325-336. IF(2016)=2,258. Q1 Web of Science.

Objetivo

Encontrar el mejor valor de 33 variables (geometría, resistencia de hormigón, pretensado y armadura) para que:

- El coste sea mínimo
- Las emisiones de CO₂ sean mínimas
- El coeficiente de seguridad sea máximo

Sujeto a

Los requerimientos de ELS, ELU, constructivos y geométricos. Además, las restricciones de durabilidad garantizan una vida útil de 100 años

Dado

Puente postesado en cajón. Recubrimiento de 65 mm



Victor Yepes Piqueras. Dr. Ingeniero de Caminos

>SantiagoMayo2019



Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile) 23 de mayo de 2019

Resultados y discusión

Optimización multiobjetivo del coste, emisiones de CO₂ y seguridad estructural

1 Introducción

2 Estado del arte

3 Metodología y objetivos

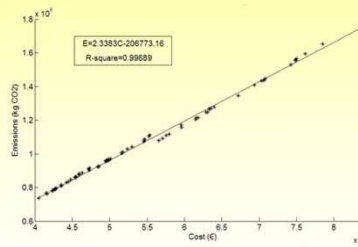
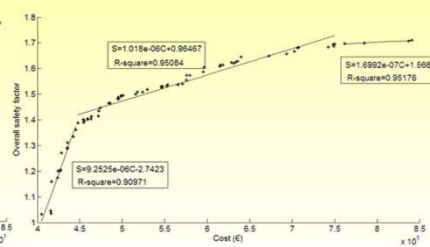
4 Estudios previos

5 Problema de optimización

6 Resultados y discusión

7 Conclusiones

8 Futuras líneas de investigación

1 € → 2,34 kgCO₂

Estado límite restrictivo: descompresión

Variables condicionantes del diseño:
Canto, espesor de la losa inferior, acero activo y pasivo (resistencia a flexión)

Victor Yepes Piqueras. Dr. Ingeniero de Caminos

>SantiagoMayo2019



Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile) 23 de mayo de 2019

Resultados y discusión

- 1 Introducción
- 2 Estado del arte
- 3 Metodología y objetivos
- 4 Estudios previos
- 5 Problema de optimización
- 6 Resultados y discusión
- 7 Conclusiones
- 8 Futuras líneas de investigación

Optimización multiobjetivo del coste, emisiones de CO₂ y seguridad estructural

- La inclusión de la seguridad como objetivo permite mejorarla con reducidos incrementos de coste
- El incremento del espesor de la losa superior y las alas no mejora la seguridad, e incrementa el peso propio
- La inclinación de las almas puede ser constante, pues tanto el canto como la anchura de la inclinación del alma se incrementan paralelamente para mejorar la seguridad
- El espesor del alma no es la variable más económica para incrementar la resistencia a cortante. Sí lo es el incremento de la armadura pasiva
- El hormigón de alta resistencia no es la mejor solución para mejorar la seguridad, pues no lleva a una reducción del canto o de la cuantía de armadura pasiva



Victor Yepes Piqueras. Dr. Ingeniero de Caminos

>SantiagoMayo2019



Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile) 23 de mayo de 2019

Resultados y discusión

- 1 Introducción
- 2 Estado del arte
- 3 Metodología y objetivos
- 4 Estudios previos
- 5 Problema de optimización
- 6 Resultados y discusión
- 7 Conclusiones
- 8 Futuras líneas de investigación

Optimización multiobjetivo del coste, seguridad estructural e inicio de la corrosión

GARCÍA-SEGURA, T.; YEPES, V.; FRANGOPOL, D.M. (2017). **Multi-Objective Design of Post-Tensioned Concrete Road Bridges Using Artificial Neural Networks. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 56(1):139-150. IF(2016)=2,377. Q1 Web of Science.**

Objetivo

Encontrar el mejor valor de 34 variables referentes a la geometría (incluyendo el recubrimiento), resistencia de hormigón, pretensado y armadura para que:

- El coste sea mínimo
- El coeficiente de seguridad sea máximo
- El tiempo de inicio de la corrosión sea máximo

Sujeto a

Los requerimientos de ELS, ELU, constructivos y geométricos propios de este tipo de puentes

Dado

Puente postesado en cajón

Struct Multidisc Optim (2017) 56:139–150
DOI 10.1007/s00338-017-1653-9

RESEARCH PAPER

Multi-objective design of post-tensioned concrete road bridges using artificial neural networks

Tatiana García-Segura¹ · Víctor Yepes² · Dan M. Frangopol³

Received: 12 September 2016 / Revised: 1 December 2016 / Accepted: 5 January 2017 / Published online: 9 February 2017
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2017



Victor Yepes Piqueras. Dr. Ingeniero de Caminos

>SantiagoMayo2019



Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile)

23 de mayo de 2019

Resultados y discusión

Optimización multiobjetivo del coste, seguridad estructural e inicio de la corrosión

1 Introducción

2 Estado del arte

3 Metodología y objetivos

4 Estudios previos

5 Problema de optimización

6 Resultados y discusión

7 Conclusiones

8 Futuras líneas de investigación



ANN training
↓
Design variables
↓
Limit state coefficient

Approximate Pareto set
↓
Multiobjective harmony search + ANN

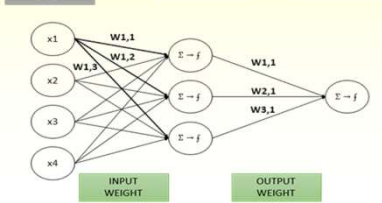
Updated Pareto set
↓
Finite-element analysis
↓
Limit state verification

Exact Pareto front
↓
• Multiobjective harmony search + Finite-element analysis
↓
Limit state verification

INPUT LAYER

HIDDEN LAYER

OUTPUT LAYER



Tiempo de cálculo:
1500 s solución factible exacta
4 s solución aproximada ANN

Victor Yepes Piqueras, Dr. Ingeniero de Caminos >SantiagoMayo2019



Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile)

23 de mayo de 2019

Resultados y discusión

Optimización multiobjetivo del coste, seguridad estructural e inicio de la corrosión

1 Introducción

2 Estado del arte

3 Metodología y objetivos

4 Estudios previos

5 Problema de optimización

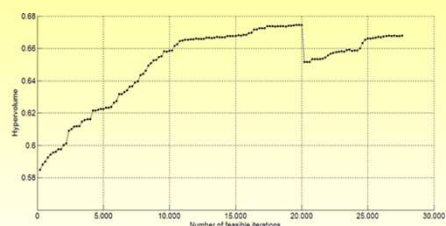
6 Resultados y discusión

7 Conclusiones

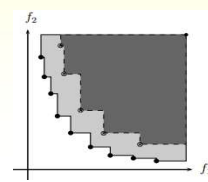
8 Futuras líneas de investigación



Paso 1. Entrenamiento de la red



Limit state	MSE	R ²
Stresses during prestressing	0.0213	0.976
Serviceability stresses	0.0039	0.996
Deflection (Fomento, 2008)	0.0036	0.996
Deflection (Fomento, 2011)	0.0001	0.999
Flexure	0.0574	0.942
Minimum flexure reinforcement	0.0704	0.93
Shear	0.0063	0.993
Minimum shear reinforcement	0.0116	0.988
Shear between web and flanges	0.0384	0.96
Torsion: longitudinal reinforcement	0.0096	0.99
Torsion: transverse reinforcement	0.027	0.973
Minimum torsion reinforcement	0.0407	0.959
Torsion combined with shear	0.0012	0.999
Torsion combined with tension	0.0408	0.958
Transverse flexion	0.0479	0.952
Minimum transverse reinforcement	0.0877	0.912
Transverse shear	0.0627	0.937



hipervolumen

Victor Yepes Piqueras, Dr. Ingeniero de Caminos >SantiagoMayo2019



Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile)

23 de mayo de 2019

Resultados y discusión

Optimización multiobjetivo del coste, seguridad estructural e inicio de la corrosión

Paso 2. Frontera de Pareto aproximada

	HMCR	Fix memory consideration	K_p	Hypervolume
Case 1	0.7	No	1	0.6286
Case 2	0.85	No	1	0.6322
Case 3	1	No	1	0.6373
Case 4	0.7	Yes	1	0.6504
Case 5	0.85	Yes	1	0.6612
Case 6	1	Yes	1	0.6744
Case 7	0.7	Yes	1.1	0.6225
Case 8	0.85	Yes	1.1	0.6589
Case 9	1	Yes	1.1	0.6583
Phase 1: 2500 iterations	0.7	No	1	
Case 10 Phase 2: 2500 iterations	0.7	Yes	1	0.6748
Phase 3: 15000 iterations	1	Yes	1	

$F_p = (K_p/f) \cdot F$

Victor Yepes Piqueras, Dr. Ingeniero de Caminos

>SantiagoMayo2019



Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile)

23 de mayo de 2019

Resultados y discusión

Optimización multiobjetivo del coste, seguridad estructural e inicio de la corrosión

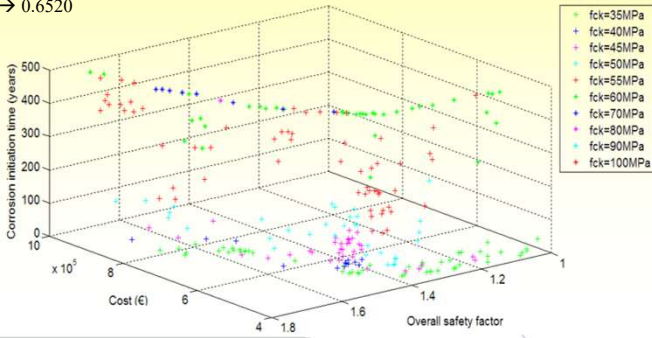
Paso 3. Actualización de la frontera de Pareto

Case 8: 0.6589 → 0.6499

Case 10: 0.6748 → 0.6520

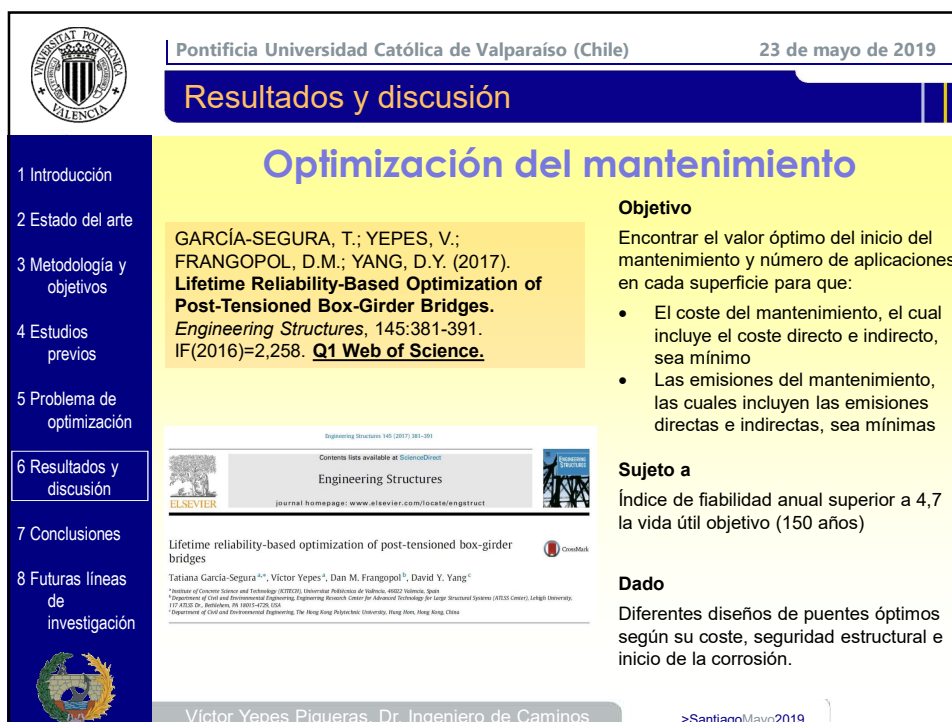
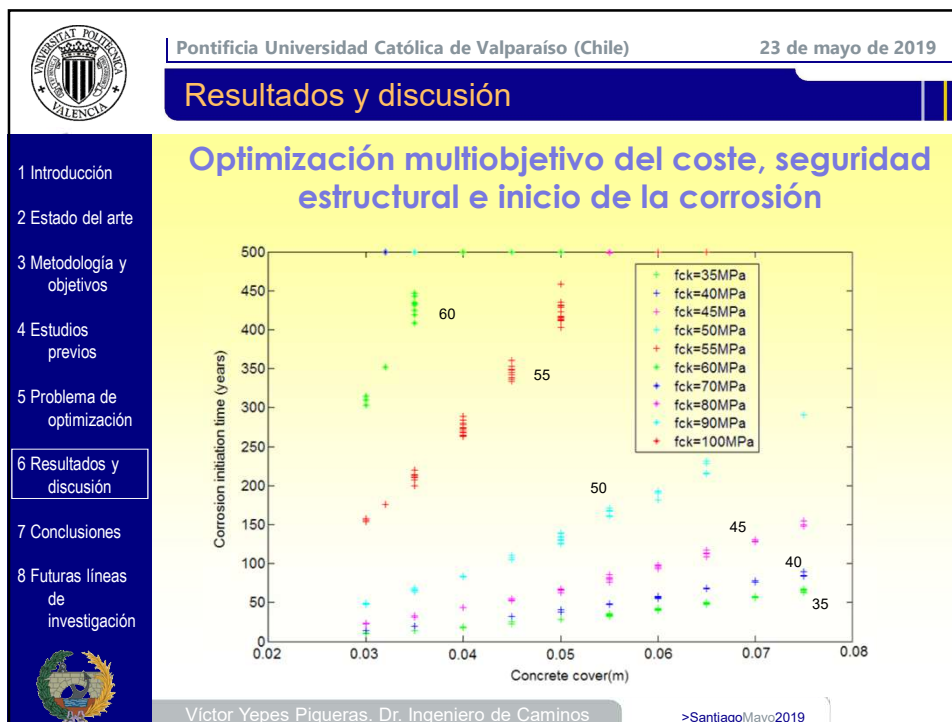
Paso 4. Frontera de Pareto exacta

27% / 37% de las evaluaciones son exactas



Victor Yepes Piqueras, Dr. Ingeniero de Caminos

>SantiagoMayo2019

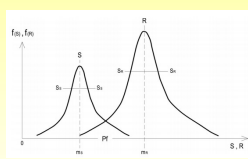
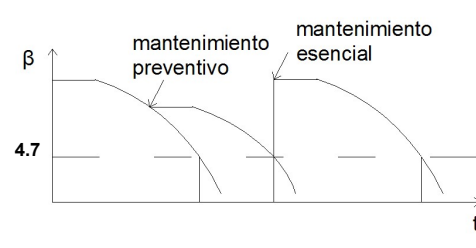


Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile) 23 de mayo de 2019

Resultados y discusión

Optimización del mantenimiento

Ataque por cloruros → Reducción del diámetro → Deterioro estructural

4.7

$p_f = P_r[(R - S) < 0]$

$\beta = -\Phi^{-1}(p_f)$

$\beta = \frac{R - S}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}}$

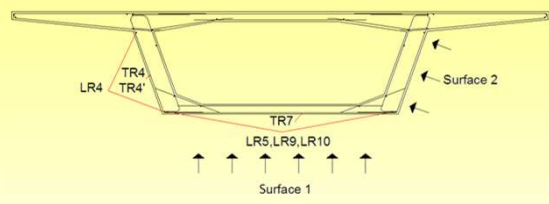
mantenimiento

Víctor Yepes Piqueras, Dr. Ingeniero de Caminos >SantiagoMayo2019

Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile) 23 de mayo de 2019

Resultados y discusión

Optimización del mantenimiento



$i_{corr}(t) = i_{corr}(1) \cdot 0.85 \cdot (t - t_{corr})^{-0.29}$
 $i_{corr}(1) = \frac{37.8(1 - w/c)^{-1.64}}{C_c}$
 $D_b = D_{b0} - 2 \cdot \int_{t_i}^t 0.0116 \cdot i_{corr}(t) dt$



Random Variables	Model type	Estados límites y armaduras afectadas por la corrosión		
		Surface	Reinforcement diameter	Limit state
Reinforcing steel strength	Normal (COV=0.098)			Torsion
Prestressing steel strength	Normal (COV=0.025)			Flexure
Concrete compressive strength	Normal (COV=0.18)	1	LR ₅ , LR ₉ , LR ₁₀	Transverse flexure
Concrete tension strength	Normal (COV=0.18)		TR ₇	Torsion
Permanent	Normal (COV=0.1)		LR ₄	Torsion
Gradient	Gumbel (COV=0.4)			Transverse flexure
Traffic load	Gumbel (COV=0.15)	2	TR ₄ , TR _{4'}	Torsion
				Shear

Víctor Yepes Piqueras, Dr. Ingeniero de Caminos >SantiagoMayo2019



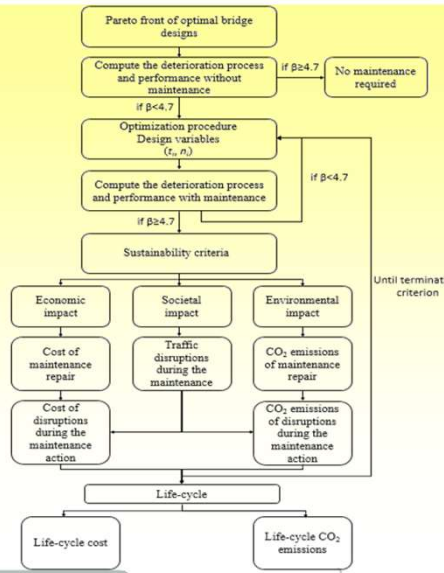
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile)

23 de mayo de 2019

Resultados y discusión

- 1 Introducción
- 2 Estado del arte
- 3 Metodología y objetivos
- 4 Estudios previos
- 5 Problema de optimización
- 6 Resultados y discusión
- 7 Conclusiones
- 8 Futuras líneas de investigación

Optimización del mantenimiento



Victor Yepes Piqueras, Dr. Ingeniero de Caminos >SantiagoMayo2019



Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile)

23 de mayo de 2019

Resultados y discusión

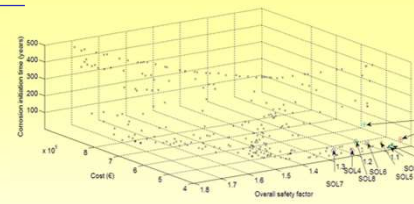
- 1 Introducción
- 2 Estado del arte
- 3 Metodología y objetivos
- 4 Estudios previos
- 5 Problema de optimización
- 6 Resultados y discusión
- 7 Conclusiones
- 8 Futuras líneas de investigación

Optimización del mantenimiento

	C_{ini} (€)	S	t_{corr} (años)
SOL1	401260.99	1.07 (L1)	10.45 (L1)
SOL2	401399.55	1.03 (L1)	47.41 (L4)
SOL3	401947.90	1.06 (L1)	18.26 (L2)
SOL4	406159.66	1.21 (L3)	23.81 (L2)
SOL5	409807.04	1.10 (L1)	41.04 (L3)
SOL6	416612.17	1.14 (L2)	48.15 (L4)
SOL7	416828.32	1.27 (L3)	35.09 (L3)
SOL8	418635.77	1.18 (L2)	65.68 (L5)
SOL9	423569.85	1.15 (L2)	153.90 (L6)

Seguridad: 1,1 – 1,2

t_{corr} : 15, 30, 45, 60, 75



	h (m)	c_r (mm)	f_{dk} (MPa)	Reinforcing steel (kg/m ² deck)	Concrete (m ³ /m ² deck)	Prestressing steel (kg/m ² deck)
SOL1	2.30	30	35	67.10	0.670	21.99
SOL2	2.30	65	35	66.89	0.674	21.98
SOL3	2.30	40	35	70.03	0.665	21.11
SOL4	2.65	30	45	70.44	0.662	19.80
SOL5	2.30	60	35	76.81	0.636	21.10
SOL6	2.60	30	50	72.31	0.678	19.80
SOL7	2.30	55	35	81.36	0.635	21.10
SOL8	2.65	35	50	74.67	0.674	19.80
SOL9	2.55	30	55	78.50	0.638	20.46

Victor Yepes Piqueras, Dr. Ingeniero de Caminos >SantiagoMayo2019



Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile)

23 de mayo de 2019

Resultados y discusión

Optimización del mantenimiento

	TC (€)	TE (kg CO ₂)	t ₁ (años)	n ₁	t ₂ (años)	n ₂
SOL1	813350	1453093	25	2	25	2
SOL2	532289	1097023	70	1	70	1
SOL3	743009	1449714	35	2	35	2
SOL4	619797	1496228	65	2	65	2
SOL5	621560	1325939	60	1	60	2
SOL6	485022	1163320	105	1	105	1
SOL7	663944	1334575	50	1	50	2
SOL8	468838	1170615	120	1	120	1

1. La sostenibilidad pasa por reducir el número de acciones de mantenimiento

2. Es mejor realizar las labores de mantenimiento en todas las superficies a la vez (reducir desvíos tráfico)

3. La demora en el inicio de la corrosión reduce el coste del ciclo de vida, incluso con costes iniciales más altos

Orden t_{corr} SOL9, SOL8, SOL6, SOL2, SOL5, SOL7, SOL4, SOL3, SOL1

Orden mínimo coste SOL9, SOL8, SOL6, SOL2, SOL4, SOL5, SOL7, SOL3, SOL1

Orden mínimas emisiones SOL9, SOL2, SOL6, SOL8, SOL5, SOL7, SOL3, SOL1, SOL4

Victor Yepes Piqueras. Dr. Ingeniero de Caminos

>SantiagoMayo2019



Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile)

23 de mayo de 2019

Resultados y discusión

1 Introducción

2 Estado del arte

3 Metodología y objetivos

4 Estudios previos

5 Problema de optimización

6 Resultados y discusión

7 Conclusiones

8 Futuras líneas de investigación

- Un factor de seguridad alto al inicio no implica una reducción de los costes totales en el ciclo de vida
- La armadura transversal se ve más afectada que la longitudinal en la corrosión
- Para un inicio de corrosión similar, incrementar la resistencia del hormigón puede disminuir el número de operaciones de mantenimiento, y por tanto, el coste total del ciclo de vida
- Cuando no es posible incrementar significativamente el recubrimiento, el menor coste del ciclo de vida se obtiene aumentando la resistencia del hormigón

Victor Yepes Piqueras. Dr. Ingeniero de Caminos

>SantiagoMayo2019



Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile)23 de mayo de 2019

Conclusiones generales

1 Introducción

2 Estado del arte

3 Metodología y objetivos

4 Estudios previos

5 Problema de optimización

6 Resultados y discusión

7 Conclusiones

8 Futuras líneas de investigación

- Se muestra la necesidad de realizar una optimización multiobjetivo que incluya el ciclo de vida completo de las estructuras
- Las técnicas de toma de decisiones son necesarias en la etapa previa (selección de la tipología) como en la posterior en la selección de la mejor opción de la frontera de Pareto
- La reducción del coste, las emisiones de CO₂, y la energía se encuentran relacionadas, al minimizar el volumen de materiales
- Con muy ligeros aumentos de coste se pueden incrementar significativamente la seguridad de las estructuras



Victor Yepes Piqueras. Dr. Ingeniero de Caminos>SantiagoMayo2019



Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile)23 de mayo de 2019

Conclusiones generales

1 Introducción

2 Estado del arte

3 Metodología y objetivos

4 Estudios previos

5 Problema de optimización

6 Resultados y discusión

7 Conclusiones

8 Futuras líneas de investigación

- Se muestra la necesidad de incorporar la variabilidad en el cálculo estructural para obtener diseños robustos → fiabilidad estructural
- Los metamodelos (redes neuronales) permiten acelerar los procesos de cálculo de las heurísticas
- La hibridación entre heurísticas puras mejora los resultados al combinar la diversificación y la intensificación en la búsqueda
- Resulta de gran interés introducir la durabilidad como variable de diseño y no como restricción
- Una combinación de la resistencia del hormigón y del recubrimiento mejora la durabilidad y los costes anuales



Victor Yepes Piqueras. Dr. Ingeniero de Caminos>SantiagoMayo2019



Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile)23 de mayo de 2019

Futuras líneas de investigación

- 1 Introducción
- 2 Estado del arte
- 3 Metodología y objetivos
- 4 Estudios previos
- 5 Problema de optimización
- 6 Resultados y discusión
- 7 Conclusiones
- 8 Futuras líneas de investigación**

- El caso de estudio se puede extender a puentes más largos y anchos, con sección variable, multicelular, pretensado transversal...
- Incluir procedimientos constructivos como lanzamiento, fases sucesivas, etc.
- Empleo de otros materiales, tanto para el diseño inicial como para el mantenimiento
- Incrementar el número de criterios como la estética, constructibilidad, creación de puestos de trabajo, riesgos, etc.



Victor Yepes Piqueras. Dr. Ingeniero de Caminos>SantiagoMayo2019



Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile)23 de mayo de 2019

LECCIONES APRENDIDAS

- 1 Introducción
- 2 Estado del arte
- 3 Metodología y objetivos
- 4 Estudios previos
- 5 Problema de optimización
- 6 Resultados y discusión
- 7 Conclusiones
- 8 Futuras líneas de investigación**

- Optimizamos estructuras directamente construibles
- No tiene sentido ingenieril más algoritmos heurísticos
- Es necesario un profundo conocimiento de las estructuras
- Conocimiento acelerado: fórmulas de predimensionamiento



Victor Yepes Piqueras. Dr. Ingeniero de Caminos>SantiagoMayo2019



Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile)

23 de mayo de 2019

1 Introducción

2 Estado del arte

3 Metodología y objetivos

4 Estudios previos

5 Problema de optimización

6 Resultados y discusión

7 Conclusiones

8 Futuras líneas de investigación

LECCIONES APRENDIDAS

- Será necesario el cambio de las instrucciones y normas de cálculo
- Funciones objetivos alternativas al coste (muy difícil el impacto social)
- Integración de la toma de decisión multicriterio y la optimización multiobjetivo: paradigma cognitivo



Víctor Yepes Piqueras. Dr. Ingeniero de Caminos

>SantiagoMayo2019



Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile)

23 de mayo de 2019

1 Introducción

2 Estado del arte

3 Metodología y objetivos

4 Estudios previos

5 Problema de optimización

6 Resultados y discusión

7 Conclusiones

8 Futuras líneas de investigación

LECCIONES APRENDIDAS

- Peligro ingenieril de los óptimos: fiabilidad y robustez
- Cálculo probabilista de las estructuras
- Metamodelos, diseño de experimentos, superficie de respuesta, teoría del valor extremo
- Análisis de ciclo de vida: ingeniería pura



Víctor Yepes Piqueras. Dr. Ingeniero de Caminos

>SantiagoMayo2019



Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile)23 de mayo de 2019



1 Introducción

2 Estado del arte

3 Metodología y objetivos

4 Estudios previos

5 Problema de optimización

6 Resultados y discusión

7 Conclusiones

8 Futuras líneas de investigación

LECCIONES APRENDIDAS

- Previo a la optimización estructural: toma de decisiones tipologías
- Conocimiento de nuevos materiales
- Integración de los procedimientos constructivos en la optimización
- Futuro: monitorización y data mining

Victor Yepes Piqueras. Dr. Ingeniero de Caminos>SantiagoMayo2019



Departamento de Ingeniería de la Construcción y Proyectos de Ingeniería

INGENIERÍA DE LA CONSTRUCCIÓN

Toma de decisiones en la gestión del ciclo de vida de puentes e infraestructuras viarias de alta eficiencia social bajo presupuestos restrictivos

VÍCTOR YEPES PIQUERAS
Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Catedrático de Universidad

>SantiagoMayo2019