

## OPTIMIZACIÓN CONJUNTA DE LA OPERATIVIDAD Y SEGURIDAD PORTUARIAS

R. García Morales, A. Baquerizo Azofra, M. Losada Rodríguez

*Grupo de Dinámica de Flujos Ambientales. Instituto Interuniversitario de Investigación del Sistema Tierra de Andalucía. Centro Andaluz del Medio Ambiente. Universidad de Granada. Avda. del Mediterráneo, s/n. 18006 Granada, España. [rgarciamorales@ugr.es](mailto:rgarciamorales@ugr.es) , [abaqueri@ugr.es](mailto:abaqueri@ugr.es), [mlosada@ugr.es](mailto:mlosada@ugr.es).*

### INTRODUCCIÓN

Los puertos desempeñan un papel muy importante en la economía de un país, siendo un elemento clave en sus exportaciones e importaciones. Por ejemplo, en España, el 60% de las exportaciones y el 85% de las importaciones pasan por los puertos pertenecientes al Sistema Portuario de Titularidad del Estado (Puertos del Estado, 2015). Debido a esto, una gestión encaminada a aumentar el rendimiento económico y operativo de los puertos tendrá un impacto positivo en las cadenas de suministro del país y, por tanto, en la economía general del mismo.

Por otro lado, la seguridad en la realización de las operaciones portuarias es otro factor que debe ser considerado en la gestión portuaria. Además de por su importancia económica, los puertos se caracterizan por estar en contacto directo con sistemas naturales de gran valor, por lo que un accidente durante la realización de actividades portuarias puede tener graves consecuencias, no solo personales, sino también económicas y medioambientales. En este contexto, se hace necesario estudiar conjuntamente la respuesta del puerto, en términos de operatividad y seguridad, a las actuaciones que se deriven de la gestión o planificación portuaria.

El objetivo de este trabajo es proponer una metodología para la evaluación conjunta de operatividad y seguridad en las operaciones portuarias que permita encontrar soluciones óptimas a problemas de gestión o planificación portuaria. La metodología tendrá en cuenta la incertidumbre asociada al comportamiento del puerto, heredada de los agentes forzadores del mismo.

### METODOLOGÍA

Este trabajo propone una metodología para la evaluación conjunta de operatividad y seguridad portuarias. La metodología puede ser usada como una herramienta de ayuda a la decisión en la gestión y planificación portuaria, permitiendo la obtención de soluciones óptimas a determinados problemas de gestión portuaria.

La metodología consta de tres pasos, (1) definición del problema de gestión a través de un conjunto de variables de decisión y sus rangos de variación, (2) evaluación de la respuesta del puerto a las diferentes combinaciones de las variables de decisión mediante un conjunto de indicadores de la operatividad y la seguridad y (3) obtención de valores óptimos de las variables de decisión.

#### Definición del problema de gestión

El problema de gestión se define mediante un conjunto de variables y sus rangos de variación. Ejemplos de variables de decisión pueden ser los umbrales climáticos para la realización de determinadas operaciones, como la altura de ola máxima permitida para el acceso de los buques a una dársena, o el calado de un canal de navegación. Las posibles combinaciones de valores que pueden tomar las variables se discretizarán en un número de casos  $M$ , suficientemente grande para tener una representación significativa del dominio de las variables de decisión.

#### Evaluación de la respuesta del puerto

Para la evaluación de la respuesta del puerto, este es considerado un sistema sometido a un conjunto de forzamientos, cuya actuación durante un periodo de tiempo se traduce en una respuesta que es posible medir mediante un conjunto de variables o indicadores ( $S_1$ ,  $S_2$ ,

...). Los forzamientos considerados son los agentes climáticos (oleaje, viento) y de uso y explotación (llegada de buques, tiempos de servicio), que pueden ser caracterizados como procesos aleatorios. La respuesta del puerto en términos de operatividad y seguridad puede estimarse, por ejemplo, por los tiempos medios de espera de los buques, costes asociados a esas esperas, número de fallos que se producen en el periodo de estudio o las consecuencias de dichos fallos.

Mediante técnicas de simulación, es posible simular un número elevado,  $N$ , de series de dichos procesos aleatorios. Las series simuladas alimentan un modelo de simulación de las operaciones portuarias que permite reproducir la respuesta del puerto con una determinada configuración, pudiendo estimar los valores de los indicadores de operatividad y seguridad (García-Morales et al., 2014). De este modo, se obtiene una muestra aleatoria de los indicadores, de la que se infiere la función de densidad conjunta de los indicadores, que caracteriza estadísticamente el comportamiento de cada caso. La figura 1 muestra un esquema general de este paso.

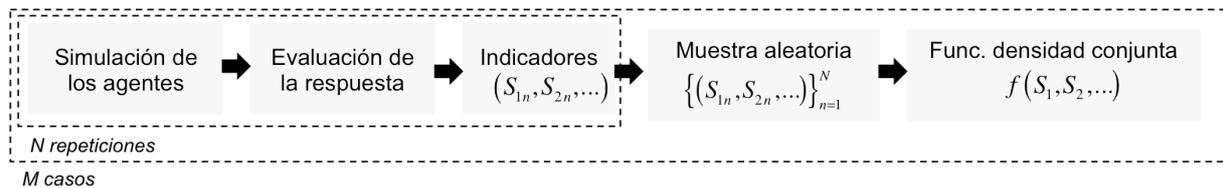


Figura 1. Esquema de la metodología aplicada

### Optimización conjunta de operatividad y seguridad

El paso final de la metodología consiste en la obtención de la configuración óptima del puerto tras el análisis del rendimiento de cada uno de los casos definidos. Para ello, se plantea el problema de optimización en el dominio de las variables de decisión, y cuya función objetivo es una función de utilidad que combina los indicadores de operatividad y seguridad. Los valores óptimos de las variables de decisión se obtendrán atendiendo a varios criterios teniendo en cuenta la incertidumbre de los indicadores.

### CASO DE ESTUDIO

La metodología descrita se ha aplicado a un puerto teórico, cuyos gestores desean mejorar su operatividad y seguridad de manera conjunta modificando los umbrales que determinan la parada operativa del acceso a las dársenas interiores del mismo.

El problema de gestión queda definido por la variable de decisión  $C_u$ , coeficiente que multiplica los valores de los umbrales climáticos recomendados en la ROM 2.0 (Puertos del Estado, 2012). Para evaluar la operatividad y seguridad se definen los indicadores  $C_w$ , coste medio asociado a las esperas de los buques, y  $C_f$ , valoración económica de las consecuencias materiales, personales y medioambientales de los accidentes que se producen en el periodo de estudio.

En las jornadas se presentarán los resultados de la aplicación de la metodología al caso de estudio y los valores óptimos de la variable de decisión para los criterios estudiados.

### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado parcialmente por el programa FPU del Ministerio de Educación (AP 2010-0865).

### REFERENCIAS

- García Morales, R., Baquerizo, A., & Losada, M. (2014). Port operability and safety analysis under uncertainty. *Coastal Engineering Proceedings*, 1(34), management.31.
- Puertos del Estado, 2012. ROM 2.0 -11. Tomo I. Recomendaciones para el proyecto y ejecución en Obras de Atraque y Amarre. Puertos del Estado. ISBN 978-84-88975-40-9. Pp. 148
- Puertos del Estado, 2015. [<http://www.puertos.es/es-es/nosotros/Paginas/Nosotros.aspx>. [Consulta: 20-02-2015]]