

# *Definición de indicadores para actividad portuaria, oceanografía, hidrología y geomorfología en zonas portuarias*

## *Definition of indicators for port activity, oceanography, hydrology and geomorphology in port areas*

Recibido para evaluación: 21 de Octubre de 2010  
Aceptación: 04 de Noviembre de 2010  
Recibido versión final: 19 de Noviembre de 2010

Andrés F. Osorio Arias<sup>1</sup>  
Santiago Ortega Arango<sup>2</sup>  
Pablo Agudelo Restrepo<sup>3</sup>

### RESUMEN

Los planes de monitoreo para puertos deben integrar continuamente las amenazas naturales a los que están expuestos, con el principal objetivo de minimizar los impactos ambientales que se pueden generar debido a contingencias, así como monitorear permanentemente los movimientos de carga en el puerto que se constituyen en amenazas para los ecosistemas en casos de eventualidad. Es así como se llega a proponer variables de medición climática y atmosférica con el fin de que se asegure la operación de los puertos, en este sentido se plantearon monitoreos de la actividad portuaria, oceanografía, hidrología y geomorfología de la actividad portuaria.

**Palabras Clave:** Puertos, monitoreo, indicadores, plan de manejo ambiental, impactos ambientales.

### ABSTRACT

The monitoring plans for ports must continuously integrate the natural hazards they are exposed to with the main objective of minimizing the environmental impacts that may be generated during contingencies. These plans must also monitor permanently of the cargo movements in the port that may become threats to the ecosystems in cases of an eventuality. Under these premises, climatic and atmospheric variables are taken into account in the monitoring plans to ensure the safe operation of the ports, in the areas of the geomorphology, oceanography, hydrology and the port activity.

**Key Words:** Ports, monitoring, indicators, environmental management plan, environmental impacts.

1. Dr. Profesor Asociado Escuela de Geociencias y Medio Ambiente

2. Mg. en Ingeniería de Recursos Hidráulicos, Escuela de Geociencias y Medio Ambiente.

3. Dr. (c) en Ciencias y Tecnologías del Marinas. Consultor

Grupo de Investigación en Oceanografía e Ingeniería Costera (OCEANICOS)

Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín.

afosorioar@unal.edu.co

## 1. INTRODUCCION

Como parte de un monitoreo ambiental integral para las aéreas portuarias de Colombia, tener en cuenta las variables directamente relacionadas con la operación de los puertos es una tarea que se debe empezar a resolver. La operatividad de los puertos depende no solamente de variables ambientales refiriéndose sólo a los impactos ambientales generados por la actividad, sino también a las condiciones naturales de las costas que deben sortear, por ejemplo, variables climáticas y atmosféricas que permiten condiciones para la operación segura de los puertos.



A pesar de que los puertos en Colombia realizan monitoreo de su operación, no se hace un monitoreo conjunto de las variables oceanográficas y geomorfológicas, lo que es importante porque la operatividad portuaria está fuertemente ligada a las condiciones oceanográficas presentes, y definir límites claros de operatividad puede reducir significativamente los accidentes causados por mal clima. Estos límites de operatividad se definirán con base en la experiencia acumulada por grandes puertos alrededor del mundo, como la española con el ROM 3.1- 99 (Puertos del Estado, 1999).

En este sentido, este artículo busca identificar las variables que amenazan las condiciones de operación normal de los puertos en Colombia y en el mundo y de acuerdo a ellas, definir los límites de operación para mejorar el funcionamiento de los puertos y evitar accidentes.

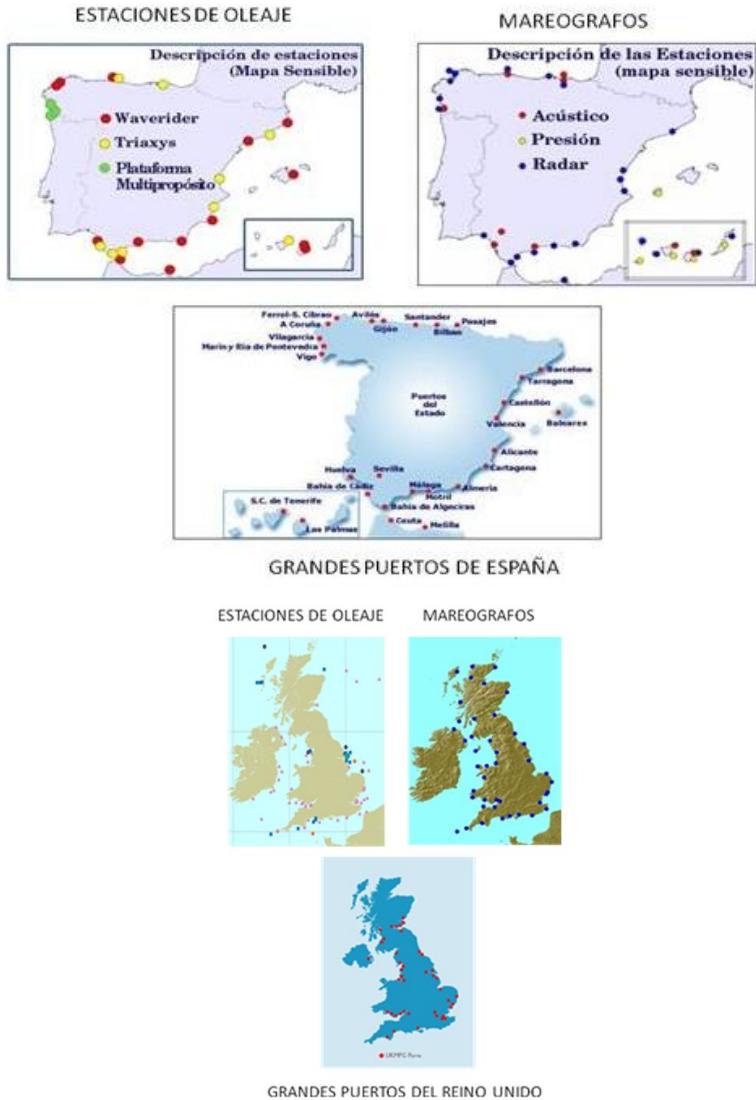
## 2. JUSTIFICACIÓN

Para garantizar una buena operación portuaria con mínimos efectos sobre el medio ambiente, se debe considerar una serie de indicadores para ser monitoreados, los cuales están interrelacionados entre sí. Es entonces necesario el monitoreo conjunto de tres tipos de variables: las relacionadas con la actividad portuaria, las relacionadas con la oceanografía y la hidrología, y las relacionadas con la geomorfología. La correcta y segura operación de un puerto depende de que estos tres grupos de variables sean monitoreados constantemente, y que se tomen decisiones operativas con base en la información suministrada por dicho monitoreo.

Las variables de monitoreo de la actividad portuaria están relacionadas con las operaciones que pueden generar impactos ambientales adversos, o con aquellas que reflejan el funcionamiento del puerto. Estos indicadores representan las actividades que tienen pertinencia para ser tenidas en cuenta en el monitoreo ambiental. Vale la pena recalcar que estos indicadores actualmente deben ser reportados obligatoriamente a varias entidades encargadas del control en las zonas portuarias, como la Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales, DIAN, el Ministerio de Transporte, el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo y las Capitanías de Puertos Locales. Por esta razón, el reporte de los indicadores solicitados no representa mayores esfuerzos adicionales para la administración portuaria.

En un puerto, las variables físicas oceanográficas más importantes para el diseño, la construcción y operación son el nivel del mar (definido por las mareas y la desembocadura de ríos), el oleaje y las corrientes asociadas a esos dos procesos. Si bien se ha planteado la necesidad de proponer indicadores ambientales para el monitoreo de los puertos colombianos, en el caso del medio físico, en su componente oceanografía e hidrología, estos indicadores son las mismas variables que se deben registrar. Las variables oceanográficas propuestas para ser monitoreadas son de obligatorio seguimiento en grandes puertos en diferentes países del mundo. Tradicionalmente, cerca de los grandes puertos, existen redes tanto de medición de oleaje como de medición de mareas que sirven, entre otras funciones, para apoyar la actividad portuaria. La Figura 1 ilustra las redes en Estados Unidos, España y el Reino Unido, así como las ubicaciones de los puertos en estos países.

La importancia de la medición de estas variables radica en dos aspectos: 1) en el intento de evitar problemas ambientales tales como derrames y accidentes que pueden ocurrir durante la operación con condiciones oceanográficas fuertes y 2) en la predicción del cambio acelerado de las variables debido a procesos de largo plazo (por ejemplo, ascenso del nivel del mar por



*Figura 1. Redes de monitoreo de variables oceanográficas en grandes puertos del mundo*

cambio climático global). Aunque menos perceptiblemente, se han mostrado evidencias de cómo el cambio climático puede afectar el fenómeno del oleaje en las costas. En efecto, se espera que el cambio climático afecte los gradientes de temperatura atmosféricos, con lo cual cambiarán los regímenes de viento y consecuentemente los regímenes de oleaje. Particularmente en el mar Caribe, el aumento de las temperaturas superficiales del océano y de la humedad atmosférica puede hacer que los huracanes y las tormentas tropicales se vuelvan más comunes y tengan mayor intensidad, lo cual modificaría los regímenes de oleaje extremo. Así mismo, es posible que el nivel del mar sufra variaciones debido al aumento de las temperaturas globales. Si bien no hay evidencias de que la carrera de marea sea afectada, hay una tendencia clara de aumento marcado del nivel medio del mar debido al derretimiento de los polos y a la expansión térmica experimentada por el agua a una mayor temperatura. Adicionalmente, la componente meteorológica de la marea (Agudelo *et al.*, 2003) puede experimentar cambios debido a las variaciones en los regímenes de vientos y de presión asociados al cambio climático.

Para que el monitoreo de estas variables sea efectivo, los puertos deben contar con acceso en tiempo real a información sobre las variables oceanográficas, sea una boyas o una



estación de medición propia o un sistema de medición de una entidad externa (CIOH, CCCP, IDEAM) que provea el acceso a los datos generados por su infraestructura de medición. Esta puede ser información de zona, que cubra las áreas marítimas de varios puertos y en caso de que se use información externa, los puertos deben contar con una manera de transformar el dato de ese sitio a un dato en las proximidades del puerto, para evaluar las variables localmente.

Finalmente, las variables geomorfológicas a monitorear están relacionadas con la evolución del paisaje costero en los alrededores del puerto. Obras de expansión portuaria pueden alterar seriamente el paisaje, y a su vez, el cambio de paisaje modifica ecosistemas y sistemas sociales que, llevados al extremo, pueden convertirse en problemas socio- ambientales con impactos muy graves. Si no hay un correcto entendimiento del fenómeno, se puede dar el caso de que se diseñen soluciones locales que en vez de resolver el problema, hagan que éste se agrave. Aunque no se puede generalizar que los puertos sean responsables de la erosión en sus alrededores, en casos como el de la Sociedad Portuaria Regional de Barranquilla, la ampliación del tajamar ha modificado radicalmente el paisaje y genera amenazas graves para el entorno litoral alrededor de los puertos (Restrepo, 2005).

Para que la operación portuaria sea posible, es necesario conocer los niveles del fondo y los dragados de los canales de acceso y las aéreas de atraque. Tradicionalmente, para garantizar la operación, los puertos acuden a los dragados de sedimentos de estas áreas, los cuales pueden tener impactos ambientales de consideración. Normalmente, el monitoreo del fondo es propuesto por los puertos desde la redacción misma de los Estudios de Impacto Ambiental para «Proyectos de dragado de profundización de canales de acceso a puertos marítimos de gran calado». Sin embargo, en aras de que el Plan de Monitoreo propuesto en este documento esté completo, se propone un levantamiento batimétrico de los canales de acceso y las aéreas de atraque que, además, es necesario para el correcto funcionamiento del puerto. Por otra parte, se propone el mismo levantamiento para las zonas de depósito de material de dragado.

### 3. METODOLOGÍA: INDICADORES, TÉCNICAS DE MEDICIÓN Y VALORES DE REFERENCIA

Las actividades a monitorear que están directamente relacionadas con la operatividad portuaria, se pueden agrupar en tres grandes grupos, los cuales se interrelacionan entre sí. El primer grupo es el de la actividad portuaria como tal, y sus indicadores están relacionados con las actividades propias del funcionamiento del puerto. El segundo grupo es la oceanografía e hidrología, y sus indicadores buscan describir las condiciones del medio físico que deben tener en cuenta los puertos para su operación. El tercer grupo es el de la geomorfología, y sus indicadores describen los cambios en la forma del fondo marino, y sus efectos en el puerto. Esta sección describe los indicadores que se proponen para el monitoreo ambiental, las técnicas para medir cada uno de ellos, los rangos valores ambiental y operacionalmente aceptables, y la aplicación de los mismos. Se definen en total 10 indicadores para los tres grupos de variables, los cuales se presentan en la Tabla 1 y se describen en detalle a continuación:

Tabla 1. Indicadores propuestos

GRUPO	INDICADOR
Actividad portuaria	Número y tipo de embarcaciones
	Cantidad y tipo de carga
	Volumen de combustibles
	Horas de operación restringida
Oceanografía e Hidrología	Tiempo de permanencia de embarcaciones en puerto
	Oleaje
	Mareas
	Corrientes
Geomorfología	Caudales
	Evolución morfológica

### Indicador 1. Número y tipo de embarcaciones:

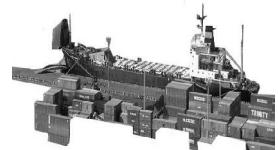
**Definición:** Representa la cantidad de embarcaciones que llegan al puerto anualmente, su tamaño y el tipo de carga que cada una puede transportar.

**Técnica de medición:** Cada buque que llegue a puerto debe reportar estas características. Se debe aprobar las operaciones del mismo de acuerdo con el clima marítimo y las recomendaciones de la ROM 3.1- 99 (Puertos del Estado, 1999). Las embarcaciones deben reportarse por tamaño.

**Valores de referencia:** No existe un valor de referencia para el número ni para el tipo de embarcaciones. Sin embargo, de acuerdo a las condiciones oceánicas, puede haber restricciones en la operación.

### Indicador 2. Cantidad y tipo de carga

**Definición:** Representa la cantidad y el tipo de carga que llega y que sale del puerto anualmente. El tipo de carga que se maneja, debe ser conocido, para así minimizar el riesgo ambiental que implica su operación.



**Técnica de medición:** Cada buque que llegue a puerto debe reportar estas características y se debe aprobar las operaciones del mismo de acuerdo con el clima marítimo y las recomendaciones de la ROM 3.1- 99 (Puertos del Estado, 1999). La carga debe reportarse por tipo de carga y por cantidad de toneladas cargadas o descargadas

**Valores de referencia:** No existe un valor de referencia para la cantidad ni para el tipo de carga. Sin embargo, de acuerdo a las condiciones oceánicas puede haber restricciones en la operación.

### Indicador 3. Volumen de combustibles

**Definición:** Este indicador tiene en cuenta la cantidad de combustible que es almacenado o embarcado en el puerto y que es suministrado a las embarcaciones que llegan a puerto y a la maquinaria para el funcionamiento interno del puerto.

**Técnica de medición:** Se debe reportar cuánto combustible hay en el puerto en cada momento, y cuánto se suministra a cada uno de los buques que llega. Los valores deben darse en litros.

**Valores de referencia:** No existen valores de referencia para la cantidad de combustible almacenado. Sin embargo este dato es útil a la hora de afrontar algún accidente o eventualidad en el puerto.

### Indicador 4. Horas de operación restringida

**Definición:** Debido a condiciones climáticas, marinas y oceanográficas adversas, la operación portuaria debe ser restringida para evitar accidentes que puedan tener efectos adversos sobre el ecosistema o la infraestructura portuaria. Por tal razón, estas horas deben cuantificarse para garantizar que el puerto esté operando de forma segura.

**Técnicas de medición:** Se debe registrar la restricción de operación durante los temporales que ocurrán, y contrastarla con el clima marítimo. Para encontrar el acumulado anual, se suman las horas registradas en cada uno de los temporales. Con estos datos, se debe hacer un análisis, contrastando las restricciones de operación y los temporales ocurridos; se debe reportar si se tomó la decisión más acertada a favor de la seguridad y la reducción de accidentes. Además se debe ver si se cumplen las recomendaciones de la ROM 3.1- 99 (Puertos del Estado, 1999) para cierres anuales.

**Valores de referencia:** Los valores de referencia para el cierre dependen del tipo de puerto y de las condiciones oceanográficas, de acuerdo con las recomendaciones del ROM 3.1- 99 (Puertos del Estado, 1999). Estas se presentan en la Tabla 2.

**Tabla 2. Tiempos de cierre aceptables según el ROM 3.1- 99**

TIEMPOS MEDIOS ACEPTABLES DE CIERRE DE UN AREA POR PRESENTARSE CONDICIONES CLIMATICAS ADVERSAS (SUPERIORES A LAS ESTABLECIDAS COMO LIMITES DE OPERACION PARA LOS BUQUES DE PROYECTO)

CARACTERISTICAS DEL AREA	Tiempos de inoperatividad en horas, por todos los conceptos (1)(2)
A. Areas de buques en tránsito (accesos, vías de navegación, canales, bocanas, áreas de maniobras, etc.)	
1. Puertos de interés general	
— Areas abiertas a todo tipo de barcos	200 h. año 20 h. mes
— Areas abiertas a Embarcaciones pesqueras y deportivas (3)	20 h. año 4 h. mes
2. Puertos de refugio	
— Areas abiertas a todo tipo de barcos	300 h. año 30 h. mes
— Areas abiertas a Embarcaciones pesqueras y deportivas (3)	20 h. año 4 h. mes
3. Otros puertos	
4. Terminales especializados	
— Pasajeros, Contenedores, Ferries y otros terminales que operen con líneas regulares	200 h. año 20 h. mes
— Graneles de cualquier tipo y otros terminales que no operen con líneas regulares	600 h. año 60 h. mes
B. Areas de buques en permanencia (Fondeaderos, amarraderos, dársenas, muelles, atráques, terminales, etc.)	
1. Puertos de cualquier tipo	40 h. año 20 h. mes
2. Terminales especializados	
— Pasajeros, Contenedores, Ferries y otros terminales que operen con líneas regulares	200 h. año 20 h. mes
— Graneles de cualquier tipo y otros terminales que no operen con líneas regulares	500 h. año 50 h. mes

(1) Los tiempos de inoperatividad recogidos en esta tabla se refieren al Cierre del Area por cualquier concepto, ya sea por una variable climática no predecible con anticipación (vientos, oleajes, corrientes, mareas meteorológicas, faltas de visibilidad, etc.), como predecible con anticipación (mareas astronómicas, etc.). El cierre del área por nocturnidad no se contemplaría a estos efectos valorándose tal como se indica en el texto.

(2) Los requerimientos mínimos recogidos en esta Tabla están basados en un porcentaje de utilización del Area por los Buques de Proyecto del 30%, calculado sobre el tiempo útil total disponible (deducido por tanto el tiempo de cierre del Area por cualquier motivo: insuficiencia del nivel de agua, clima marítimo, nocturnidad, etc.). En el supuesto de que este porcentaje de utilización del área sea igual o inferior al 20%, podrán utilizarse valores del doble de los recogidos en la Tabla; asimismo si el porcentaje de utilización del área fuese igual o superior al 40% deberán utilizarse valores de la mitad de los recogidos en la Tabla; para valores intermedios podrá interpolarse linealmente.

(3) Los tiempos de inoperatividad se calcularán para las Condiciones Límites de Operación correspondientes a los Buques de Proyecto de embarcaciones pesqueras y deportivas.

### Indicador 5. Tiempo de permanencia del buque en puerto

**Definición:** Debido a condiciones climáticas marinas y oceanográficas adversas que resulten en operaciones restringidas, la permanencia de un buque en puerto puede alargarse o reducirse para evitar accidentes. Por tal razón, estas horas deben cuantificarse para garantizar que el puerto está operando de forma segura.

**Técnicas de medición:** Se debe cuantificar el tiempo que permanece el buque en puerto, y contrastarlo contra el que debería permanecer de acuerdo al clima marítimo presente y a la operación. Se debe reportar si se tomó la decisión más acertada a favor de la seguridad y la reducción de accidentes.

**Valores de referencia:** Los valores de referencia para el cierre dependen del tipo de embarcación y de las condiciones oceanográficas presentes, de acuerdo con las recomendaciones del ROM 3.1- 99 (Puertos del Estado, 1999).

## Indicador 6. Nivel del mar

**Definición:** El nivel del mar, definido como la suma del nivel medio del mar y las sobre-elevaciones por marea astronómica y marea meteorológica (Agudelo *et al.* 2003), influye en varios aspectos determinantes en los riesgos ambientales de los puertos:

- Establece el calado en un momento determinado de cualquier área de navegación, maniobra o atraque de un buque. Determina, en parte, los momentos de entrada y salida de los buques a un puerto.
- Determina los niveles de coronación de los muelles y, por ende, su operatividad.
- Genera corrientes asociadas a los cambios de nivel que producen cambios en los patrones de circulación y, por tanto, de las comunidades bióticas presentes en la zona.

**Técnicas de medición:** El nivel del mar se mide con un instrumento de medición llamado mareógrafo, que mide la columna de agua ya sea por medio de conversión de presión hidrostática o de tecnología de sonar. Tradicionalmente los mareógrafos se ubican en los extremos internos de los diques o en los contradiques del puerto, de tal forma que estén protegidos del oleaje y se pueda mejorar la medición del nivel del mar. En caso de que el puerto no tenga diques, la ubicación del mareógrafo debe hacerse en uno de los extremos del muelle de tal forma que no interfiera con la operación portuaria. El mareógrafo debe reportar mediciones del nivel medio del mar cada hora.

**Valores de referencia:** Los valores de referencia del nivel del mar durante la etapa de operación son particulares en cada puerto; por lo tanto, no se puede establecer valores generales para las costas colombianas. Sirven de información de partida las mediciones puntuales tomadas durante la etapa de diseño de la infraestructura portuaria. Sin embargo, cada puerto debe definir las condiciones mínimas del nivel del mar para garantizar su operación sin contratiempo, y éstas dependerán de la batimetría del área portuaria, de la infraestructura portuaria y del calado de los buques en operación, entre otras.

## Indicador 7. Oleaje

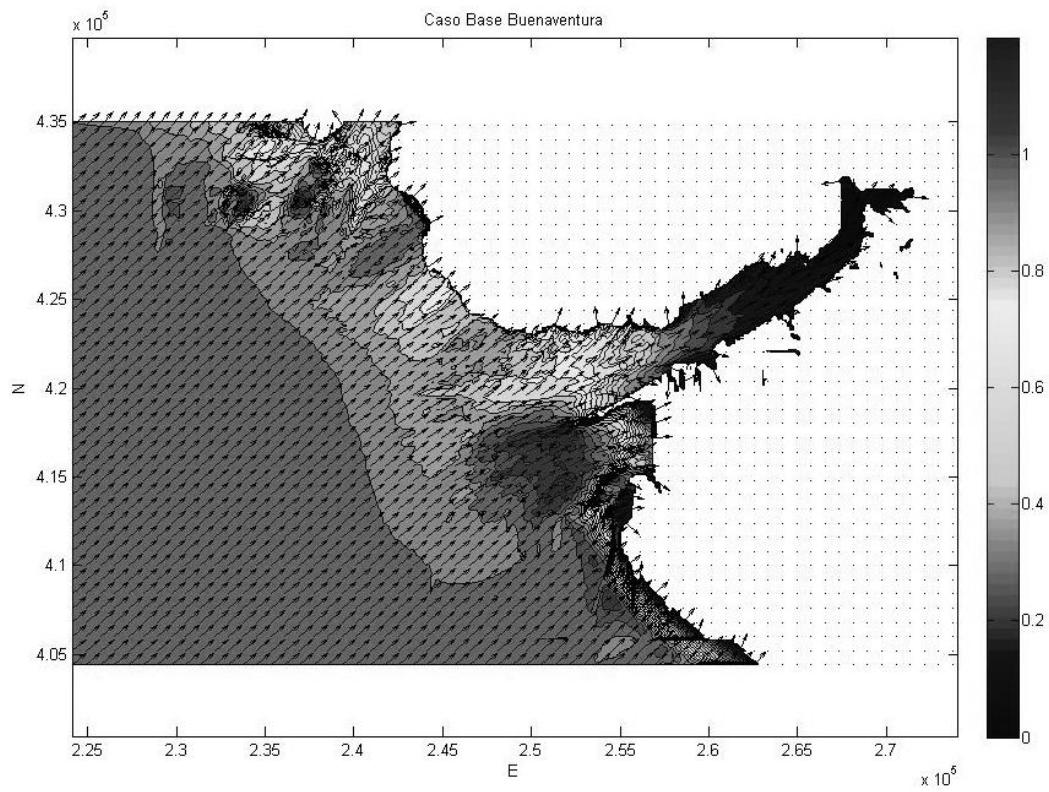
**Definición:** El oleaje también condiciona ciertos aspectos relacionados tanto con la operatividad portuaria como con las comunidades bióticas del entorno. Así,

- Define la operatividad de los muelles y áreas de navegación, en términos de agitación permitida para las maniobras. Determina, en parte, los momentos de entrada, permanencia y salida de los buques a un puerto.
- Establece las condiciones hidrodinámicas para el desarrollo de ciertas comunidades bióticas del entorno.

**Técnica de medición:** Las mediciones de oleaje se hacen tradicionalmente con una boyas. Hay diversas boyas para distintas aplicaciones y miden una gran cantidad de variables oceanográficas y atmosféricas diferentes. En la competencia de la ingeniería de puertos, las variables que interesan para ser medidas son alturas de ola, periodo y dirección. Se debe escoger un dispositivo que mida y almacene en registro un espectro de oleaje para cada estado del mar, y a partir de esta información, calcule las variables deseadas. En cuanto a la ubicación de la boyas, ésta debe hacerse en un punto alejado de la infraestructura portuaria y donde no interfiera con la operación del puerto, ni esté expuesta al tránsito de buques. Si el puerto se encuentra en una bahía, idealmente la boyas debe ubicarse en las afueras de la bahía a una profundidad cercana mayor de los 30 metros de profundidad. La resolución temporal de los datos generados debe ser de una hora.

Esto presenta una situación particular: la altura de ola no se mide en el puerto, sino a sus afueras. Para solucionar este problema, se debe usar un sistema que provea la información de la altura de ola al interior del puerto en tiempo real, de acuerdo con las condiciones de oleaje en el punto de la boyas. Este sistema puede usar un software de propagación de oleaje para tales efectos. La Figura 1 presenta un ejemplo de una propagación de oleaje, y muestra la distribución de altura de ola hacia dentro de la bahía de Buenaventura. Esta fue realizada usando el modelo SWAN (Booij *et al.* 1999), desarrollado en la Delft University of Technology.





**Figura 2. Propagación de altura de ola en Buenaventura.  $Hs=1$  en las fronteras**

**Valores de referencia:** En la ROM 3.1- 99, se hacen unas recomendaciones acerca de las condiciones límites de operación de los puertos, las cuales dependen de la altura de ola, la velocidad de la corriente, la velocidad del viento, el tipo de carga y las distintas actividades portuarias. La Tabla 3 muestra los valores máximos de oleaje y corrientes para la operación de acuerdo con el tipo de puerto y de embarcación.

**Tabla 3. Condiciones límites de operación de buques en muelles y pantalanes, según el ROM 3.1- 99**

	Velocidad absoluta del viento $V_{10.1 \text{ min}}$	Velocidad absoluta de la corriente $V_{0.1 \text{ min}}$	Altura de ola $Hs$
1. Atracar de buques			
• Acciones en sentido longitudinal al muelle	17.0 m/s	1.0 m/s	2.0 m
• Acciones en sentido transversal al muelle	10.0 m/s	0.1 m/s	1.5 m
2. Paralización operaciones carga y descarga (para equipos convencionales)			
• Acciones en sentido longitudinal al muelle			
— Petroleros			
— < 30.000 TPM	22 m/s	1.5 m/s	1.5 m
— 30.000-200.000 TPM	22 m/s	1.5 m/s	2.0 m
— > 200.000 TPM	22 m/s	1.5 m/s	2.5 m
— Graneleros			
— Cargando	22 m/s	1.5 m/s	1.5 m
— Descargando	22 m/s	1.5 m/s	1.0 m
— Transportadores de Gases Licuados			
— < 60.000 m <sup>3</sup>	22 m/s	1.5 m/s	1.2 m/s
— > 60.000 m <sup>3</sup>	22 m/s	1.5 m/s	1.5 m/s
— Mercantes de carga general, Pesqueros de altura y congeladores	22 m/s	1.5 m/s	1.0 m
— Portacontenedores, Ro-Ros y Ferries	22 m/s	1.5 m/s	0.5 m
— Transatlánticos y Cruceros (1)	22 m/s	1.5 m/s	0.5 m
— Pesqueros de pesca fresca	22 m/s	1.5 m/s	0.6 m

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acciones en sentido transversal al muelle           <ul style="list-style-type: none"> <li>— Petroleros               <ul style="list-style-type: none"> <li>&lt; 30.000 TPM</li> <li>30.000-200.000 TPM</li> <li>&gt; 200.000 TPM</li> </ul> </li> <li>— Graneleros               <ul style="list-style-type: none"> <li>Cargando</li> <li>Descargando</li> </ul> </li> <li>— Transportadores de Gases Licuados               <ul style="list-style-type: none"> <li>&lt; 60.000 m<sup>3</sup></li> <li>&gt; 60.000 m<sup>3</sup></li> </ul> </li> <li>— Mercantes de carga general, Pesqueros de altura y congeladores</li> <li>— Portacontenedores, Ro-Ros y Ferries</li> <li>— Transatlánticos y Cruceros (1)</li> <li>— Pesqueros de pesca fresca</li> </ul> </li> </ul>	<table border="1"> <tr> <td>20 m/s</td><td>0.7 m/s</td><td>1.0 m</td></tr> <tr> <td>20 m/s</td><td>0.7 m/s</td><td>1.2 m</td></tr> <tr> <td>20 m/s</td><td>0.7 m/s</td><td>1.5 m</td></tr> <tr> <td>22 m/s</td><td>0.7 m/s</td><td>1.0 m</td></tr> <tr> <td>22 m/s</td><td>0.7 m/s</td><td>0.8 m</td></tr> <tr> <td>16 m/s</td><td>0.5 m/s</td><td>0.8 m</td></tr> <tr> <td>16 m/s</td><td>0.5 m/s</td><td>1.0 m</td></tr> <tr> <td>22 m/s</td><td>0.7 m/s</td><td>0.8 m</td></tr> <tr> <td>22 m/s</td><td>0.5 m/s</td><td>0.3 m</td></tr> <tr> <td>22 m/s</td><td>0.5 m/s</td><td>0.3 m</td></tr> </table>	20 m/s	0.7 m/s	1.0 m	20 m/s	0.7 m/s	1.2 m	20 m/s	0.7 m/s	1.5 m	22 m/s	0.7 m/s	1.0 m	22 m/s	0.7 m/s	0.8 m	16 m/s	0.5 m/s	0.8 m	16 m/s	0.5 m/s	1.0 m	22 m/s	0.7 m/s	0.8 m	22 m/s	0.5 m/s	0.3 m	22 m/s	0.5 m/s	0.3 m	<table border="1"> <tr> <td>22 m/s</td><td>0.7 m/s</td><td>0.4 m</td></tr> </table>	22 m/s	0.7 m/s	0.4 m
20 m/s	0.7 m/s	1.0 m																																	
20 m/s	0.7 m/s	1.2 m																																	
20 m/s	0.7 m/s	1.5 m																																	
22 m/s	0.7 m/s	1.0 m																																	
22 m/s	0.7 m/s	0.8 m																																	
16 m/s	0.5 m/s	0.8 m																																	
16 m/s	0.5 m/s	1.0 m																																	
22 m/s	0.7 m/s	0.8 m																																	
22 m/s	0.5 m/s	0.3 m																																	
22 m/s	0.5 m/s	0.3 m																																	
22 m/s	0.7 m/s	0.4 m																																	



Limitaciones impuestas por las cargas de diseño de los muelles

#### NOTAS:

- $V_{10.1 \text{ min}}$  = Velocidad media del viento, correspondiente a 10 m de altura y ráfaga de 1 minuto.  
 $V_{c.1 \text{ min}}$  = Velocidad media de la corriente correspondiente a una profundidad del 50% del calado del buque, en un intervalo de 1 minuto.  
 $H_s$  = Altura de la ola significante del oleaje (para estudios de mayor precisión se considerará la influencia del período).  
 Longitudinal = Se entenderá que el viento, la corriente o el oleaje actúan longitudinalmente, cuando su dirección está comprendida en el sector de  $\pm 45^\circ$  con el eje longitudinal del buque.  
 Transversal = Se entenderá que el viento, la corriente o el oleaje actúan longitudinalmente, cuando su dirección está comprendida en el sector de  $\pm 45^\circ$  con el eje transversal del buque.  
 (1) = Las condiciones se refieren al embarque y desembarque del pasaje.  
 (2) = Las condiciones se refieren a los límites para mantener una habitabilidad aceptable con el pasaje a bordo

Debido a la ausencia total de este tipo de recomendaciones en Colombia, se cree conveniente utilizar la de otros lugares, en los que la actividad portuaria está más regulada. En particular, consideramos que las recomendaciones para la operatividad de un puerto, redactadas por Puertos del Estado de España, se pueden adecuar perfectamente a las condiciones colombianas. No obstante, se clarifica que los valores citados anteriormente son magnitudes de referencia.

### Indicador 8. Corrientes

**Definición:** Las corrientes oceánicas son movimientos de masas de agua que obedecen a diversos factores: acción del viento, gradientes de temperatura y de densidad, entre otros. La magnitud de estas corrientes depende de diversos factores geográficos y oceanográficos. Además, existe otro tipo de corrientes, llamadas las corrientes litorales, que son causadas por la incidencia oblicua del oleaje en la costa y los gradientes de altura de ola. Es importante el monitoreo de las corrientes principalmente para evitar accidentes. Cuando tienen altas velocidades, las corrientes pueden empujar las embarcaciones y hacerlas chocar entre sí o contra la infraestructura portuaria, ocasionando daños materiales y efectos ambientales adversos. Adicionalmente, conocer en detalle el comportamiento de las corrientes puede resultar muy beneficioso para tomar acciones de contingencia ante situaciones de emergencia como derrames de contaminantes o rescates.

**Técnicas de medición:** Se debe instalar un correntómetro cercano a las áreas de embarque, en un lugar donde no interfiera con el tráfico de buques, ni con la operación portuaria. Debe arrojar resultados con una resolución temporal de una hora, con el propósito de restringir operaciones cuando la corriente es muy fuerte, y así evitar accidentes.

La escogencia del lugar puede hacerse usando modelos numéricos que simulen las corrientes en función de las condiciones de oleaje que se presentan. Estos modelos pueden mostrar los puntos más críticos en términos de presencia de corrientes en el puerto. Se debe

realizar un análisis espacial que incluya la ubicación de infraestructura portuaria y las zonas con mayores corrientes para así ubicar el correntómetro en el lugar más idóneo. Adicionalmente, cada área portuaria debe hacer un estudio donde se determine el comportamiento de las corrientes en las zonas portuarias y sus alrededores para las distintas estaciones del año. Este estudio se hace una vez, y se debe revisar cada vez que el puerto realice una expansión de su infraestructura, o que haya infraestructura nueva en el área portuaria. Tiene el fin de hacer más eficientes las acciones de contingencia frente a accidentes como derrames de combustibles o de material flotante.

**Valores de referencia:** Similarmente, los valores de referencia de oleaje se muestran en la Tabla 3.

#### Indicador 9. Caudales

**Definición:** El caudal fluvial tiene una gran importancia para los puertos ubicados en las desembocaduras de los ríos. En muchas ocasiones, el cauce del río cumple la función de canal de navegación y define el nivel del agua de los muelles. Es indispensable entonces medir constantemente el caudal para saber si se tienen condiciones óptimas para la operación, ya que del caudal presente en el río dependerán las profundidades y la velocidad de la corriente en el canal.

La medición de caudal toma vital importancia para evitar encallamientos de las embarcaciones cuando hay bajo caudal y para evitar accidentes cuando hay crecientes. En las crecientes, el material transportado por el río puede dañar las embarcaciones, o las altas velocidades de la corriente pueden provocar que la embarcación choque contra alguna infraestructura.

**Técnica de medición:** Para los puertos que están ubicados en la desembocadura de un río, y que utilicen el canal del río como canal de navegación, el caudal debe monitorearse a todas horas, porque las corrientes que se puedan presentar en las cercanías de la infraestructura portuaria, serán una función del caudal y variarán de acuerdo a éste.

Para conocer la relación caudal- corriente, se debe realizar estudios de hidráulica que tengan en cuenta la geometría hidráulica de los canales, la presencia de infraestructura portuaria y los regímenes hidrológicos del río. Dichos estudios pueden estar sustentados en el uso de modelos numéricos debidamente calibrados.

**VARIABLES DE REFERENCIA:** Los puertos que se encuentran sobre las márgenes de grandes ríos, como por ejemplo las Sociedades Portuarias Regionales de Barranquilla y Buenaventura, no se ven afectados por la propagación del oleaje, ni por las corrientes oceánicas en sus muelles, pero para su operación, deben tener muy en cuenta la velocidad de la corriente de los Ríos Magdalena y Dagua, respectivamente. Las recomendaciones del ROM 3.1- 99 se deben seguir usando los valores de la corriente fluvial, que será función del caudal del río.

#### Indicador 10. Evolución morfológica

**Definición:** Las variables que se propone monitorear, son básicamente dos: volumen de erosión/acreción y avance/retroceso de la línea de costa. La metodología para medirlas es muy similar y parte del análisis de batimetrías existentes que se han hecho a lo largo del tiempo en las áreas de estudio. Los sedimentos pueden ser transportados repentinamente por un evento de temporal, donde el oleaje extremo cambia las condiciones morfodinámicas, o por la interacción de estructuras antrópicas que causan transformaciones en el oleaje, alterando la planta y el perfil de equilibrio de las costas.

El volumen de erosión se define como la cantidad de sedimentos que fueron removidos de una zona. El volumen de acreción es la cantidad de sedimentos adicionados a una zona. Estos volúmenes, junto con el avance o el retroceso de la línea de costa, son la representación más clara del cambio de morfología. El monitoreo de la erosión y la acreción es un elemento fundamental en la mitigación de los efectos ambientales adversos que trae la operación portuaria.

**Técnicas de medición:** La medición de este indicador está compuesta por dos partes principales, realización de batimetrías y cálculo de volúmenes.

Las batimetrías se realizan en campañas batimétricas, con una embarcación que cuenta con un dispositivo de posicionamiento global (GPS) y una ecosonda que, por medio de ondas de sonar, realiza un barrido del fondo marino. La embarcación realiza diferentes trayectorias por la zona, teniendo el nivel de la marea para realizar las lecturas del fondo. La línea de costa se levanta así mismo con la ayuda de un GPS. Una vez se tengan todos los datos, se hace un procedimiento numérico en un software para presentar los datos en una forma fácil de interpretar y analizar por los interesados. Este procedimiento puede apoyarse y validarse mediante el uso de imágenes satelitales o aerofotografías. El producto final es un mapa de la zona, donde se muestran las diferentes profundidades y un esquema de la geomorfología de la zona. Todas las áreas portuarias deben realizar batimetrías regularmente. Este monitoreo debe hacerse de forma estacional, por lo cual se propone que se haga 2 veces al año, para capturar datos tanto en verano como en invierno, y así conocer la variación estacional de la batimetría. Adicionalmente, se propone que se haga en casos especiales, como cuando hay un evento de temporal muy extremo que cambie visiblemente las condiciones morfológicas o cuando existan reiterativas quejas de la comunidad en el área de influencia del puerto.

Para calcular los volúmenes de erosión o de acreción, se debe contar con dos batimetrías de la misma zona y hacer un análisis a las variaciones a lo largo de ese periodo de tiempo. Por medio del análisis de las batimetrías, y con el uso de un sistema de información geográfica, se puede cuantificar los volúmenes y el cambio de la morfología. Estos volúmenes darán los valores de cuánto material ha sido removido o adicionado a una playa. Por supuesto, otra variable que requiere un monitoreo periódico y continuo es la de los dragados de los canales de acceso y las aéreas de atraque. Normalmente, este tipo de monitoreos es propuesto por los puertos desde la redacción misma de los Estudios de Impacto Ambiental (EIA) para proyectos de dragado de profundización de canales de acceso a puertos marítimos de gran calado. Sin embargo, en aras de que el Plan de Monitoreo propuesto en este documento esté completo, se propone un levantamiento batimétrico de los canales de acceso y de las aéreas de atraque (en este indicador) que, además, es necesario para el correcto funcionamiento del puerto. Por otra parte, se propone el mismo levantamiento para las zonas de depósito de material de dragado.

Para definir el avance o el retroceso de la línea de costa, se comparan las coordenadas levantadas usando el GPS, para dos estados de tiempo distintos.

**Valores de referencia:** Es difícil definir valores de referencia generales para el caso de las batimetrías, ya que las restricciones de operación debido a la acreción o a la erosión varían de puerto a puerto. Las restricciones de operación por posibles bajos formados dependerán principalmente del calado de los barcos, del diseño del puerto y de las profundidades locales. Por tal razón, los valores de referencia para la restricción de operación deben definirse separadamente para cada puerto.

En el caso de las playas cercanas al área portuaria, también depende de las condiciones locales. Para determinar los valores de referencia para la conservación de las playas debe hacerse un estudio morfológico que determine las plantas y los perfiles de equilibrio para distintas épocas del año. Con base en estos perfiles, se debe determinar si una playa está fuera o no de su posición de equilibrio y si existe algún riesgo para la población, los ecosistemas o la infraestructura, y se debe cuantificar los aportes y las pérdidas de sedimento y si es del caso, tomar acciones correctivas.

## 4. DISCUSIÓN

Los indicadores propuestos se diseñaron para usarse en 9 puertos en Colombia, los cuales se dividen entre puertos multipropósito y puertos de granel sólido de carbón. De acuerdo a las características de dichos puertos, algunos indicadores tendrán mucha más relevancia que otros; sin embargo, como norma general, todos deben considerarse en el monitoreo. Esos indicadores pueden servir para el monitoreo de nuevos puertos carboníferos o multipropósito que se construyan en Colombia. Para otro tipo de puertos, por ejemplo los puertos petroleros o militares, estos indicadores pueden servir como una base para el diseño de un monitoreo, pero



es necesario realizar estudios específicos para incluir indicadores nuevos que reflejen las condiciones particulares de este tipo de infraestructura.

Se reitera la importancia de evaluar eventual situación y de tomar decisiones de acuerdo con los 3 grupos de indicadores simultáneamente, ya que cada uno depende de los otros. La operación portuaria está definida por las condiciones oceanográficas presentes, las cuales a su vez son alteradas por la geomorfología. Solamente teniendo un sistema de monitoreo donde se acoplen la actividad portuaria, la oceanografía e hidrología, y la geomorfología, se podrá contar con información relevante y elementos de juicio que permitan restringir o permitir la operación portuaria de tal forma que se minimicen los posibles accidentes en el puerto. La interacción entre la geomorfología y la oceanografía e hidrología toma mayor relevancia al considerar que si se usan modelos numéricos para calcular los indicadores, es necesario tener en cuenta los cambios en la batimetría, ya que ésta es usada como un insumo de los modelos.

Los valores de referencia para las restricciones de operación fueron tomados de la experiencia española de los puertos, recopilada en el ROM 3.1 de 1999. Aunque estos valores de restricción están definidos para la península ibérica, dichas recomendaciones no están limitadas a esta región del mundo. Por el contrario, debido a las similitudes en la operación de los grandes puertos, y a que las restricciones están enfocadas a restringir accidentes dentro del puerto, la experiencia española puede ser aplicable sin ningún problema a los puertos del Caribe y del Pacífico Colombiano.

## 5. CONCLUSIONES



Los puertos, como obras de infraestructura, traen consigo desarrollo y crecimiento económico para las regiones en las cuales se encuentren. Este crecimiento económico debe estar condicionado a no deteriorar el medio ambiente y a mejorar las condiciones de vida de las comunidades, para que pueda ser beneficioso y traer un verdadero desarrollo a las regiones. Este sistema de monitoreo provee una herramienta para garantizar el cumplimiento de las obligaciones ambientales y sociales de los puertos, al mismo tiempo que mejora la seguridad y la operatividad de las áreas portuarias.

Este trabajo define unos indicadores simples, de fácil medición y con una implementación sencilla que pueden monitorearse sin esfuerzos excesivos en las áreas portuarias de Colombia.

La aplicación de un monitoreo serio acarrea grandes beneficios para la sociedad portuaria como para las comunidades en el área de influencia del puerto. Un sistema de monitoreo eficiente y efectivo se convierte en una herramienta poderosa para evitar accidentes y para atender eventuales contingencias, lo que puede significar ahorros de capital para las sociedades portuarias y minimización de los efectos ambientales adversos para la comunidad y los ecosistemas en el área de influencia.

Tradicionalmente, los puertos en Colombia no contaban con procedimientos operativos distintos a la experiencia práctica con poco sustento teórico. La medición de parámetros oceanográficos, hidrológicos y geomorfológicos usada conjuntamente con un sistema de operatividad portuaria para controlar las actividades portuarias, moderniza la operación de los puertos del país, y la pone en niveles de estándares internacionales, lo que aumenta su competitividad en el mercado del transporte marítimo.

En síntesis, los indicadores propuestos reducen los impactos ambientales, mejoran la operatividad y seguridad de los puertos, benefician a las comunidades cercanas, la región y al país, y crean desarrollo, lo que acarrea un beneficio global a todos los actores involucrados.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aguadelo, P., 2003. Cota de inundación del pacífico colombiano, Tesina de Máster. Universidad de Cantabria, Santander.
- Booij N., Ris R. C. y Holthuijsen L. H., 1999. A third generation wave model for coastal regions. *Journal of Geophysical Research. - C4* : Vol. 104. – pp.. 7649-7666.
- Osorio, A; Montoya, R. D; Mesa, J.C; Bernal G., 2009. Cuarenta años de datos de oleaje en el Mar Caribe Colombiano empleando el modelo WAVE WATCH II y diferentes fuentes de datos. Artículo sometido al Boletín Científico CIOH.
- Restrepo, J.D. (editor), 2005. Los sedimentos del Río Magdalena: reflejo de la crisis ambiental. Universidad EAFIT. Medellín, Colombia. 267 P.
- Puertos del Estado, 1999. ROM 3.1-99. Proyecto de la Configuración Marítima de los Puertos; Canales de Acceso y Áreas de Flotación. Ministerio de Fomento.



