

Las ciudades portuarias ante un clima cambiante

Port Cities and Climate Change

Borja G. Reguero
 Íñigo J. Losada
 Fernando J. Méndez

En las ciudades costeras más habitadas del mundo se estima que más de 40 millones de personas se encuentran expuestas a inundaciones de 100 años de periodo de retorno (Nicholls et al., 2008). Nueva Orleans se encontraba entre ellas antes de que el huracán Katrina aconteciera en el 2005. De ellas, 30 recogen entorno al 80% de la población expuesta total, 19 se encuentran en zonas deltaicas sujetas a subsidencia y se distribuyen tanto en países desarrollados como en vías de desarrollo. Los escenarios socioeconómicos para la tercera parte de siglo indican que la población expuesta en estas zonas podría llegar hasta 150 millones debido al efecto combinado del cambio climático, la subsidencia, el desarrollo urbanístico en la franja costera y el crecimiento de la población. Por encima de 10 veces la valoración económica actual en estas áreas estaría comprometida para entonces (Nicholls et al., 2008).

Las ciudades costeras y los puertos son focos principales de riesgo ante eventos costeros. No obstante, la exposición no necesariamente implica impactos directos ya que las infraestructuras costeras, así como su planificación anticipada, juegan un papel importante. Es por ello que las condiciones del clima cambiante han de ser tenidas en cuenta en la gestión costera, tanto a escala nacional como en los planes urbanísticos locales. Ejemplos relevantes son las barreras del Támesis (Figura 1) o las actuaciones del proyecto Delta en Holanda, donde las puertas del puerto de Rotterdam se han convertido en un claro icono de estas soluciones de ingeniería. En las próximas décadas, los cambios en el clima que se están ya observando causarán un ascenso del nivel del mar, afectarán al régimen de precipitaciones, variarán la frecuencia y/o severidad de las tormentas (vientos, oleaje y niveles extremos) y aumentarán las temperaturas. Aunque la ciencia del cambio climático ha avanzado considerablemente en la última década, los riesgos e impactos exactos permanecen aún inciertos. No obstante, los puertos y las ciudades costeras necesitan un mejor entendimiento de los posibles cambios y de la variabilidad del clima, qué impactos pueden ocurrir, su potencial magnitud y cómo gestionarlo en aras de un desarrollo sostenible y seguro.

La ciencia del cambio climático y su relación con los puertos y ciudades costeras

Existe una tendencia errónea en materia portuaria a afrontar el problema del cambio climático exclusivamente en términos de la "huella de carbono". La mayoría de los puertos parece no estar considerando, menos aún preparándose, para los posibles impactos de los cambios en el clima. Las razones son varias, desde la falta de información o divulgación de la misma a la dificultad de cuantificación de las consecuencias en las escalas de espacio-temporales requeridas.

It is estimated that more than 40 million people in the world who live in coastal cities are exposed to the threat of flooding if one applies a 100-year return period to their scenarios (Nicholls et al., 2008). Before Hurricane Katrina struck in 2005, New Orleans was among those cities. Approximately 80% of the total number of people exposed live in 30 such cities, 19 of which lie in delta zones where there is a risk of subsidence, this being a problem that affects both developed and developing countries alike. The socio-economic scenarios for the first third of this century indicate that the population living in these zones could reach 150 million by the end of this period owing to the combined effect of climate change, subsidence, urban development on the coastal strip and population growth. By that time, more than 10 times the current budget would be allocated to these areas (Nicholls et al., 2008).

Such phenomena as flooding are most likely to have a negative effect on coastal cities and ports. However, exposure does not necessarily mean that there is a direct impact because coastal infrastructures and anticipatory planning also play a major role. That is why approaches to

coastal management must take climate change into account both on a national level and where local urban planning is concerned. Good examples of such anticipatory measures are the Thames Barrier in London (Figure 1) and the Delta Project activities in the Netherlands, where the Port of Rotterdam sluice gates have become a benchmark for this type of engineering solution.

In the next few decades, the climate changes that are being observed will not only cause the sea level to rise, but will also affect the rainfall regimes, bring about changes in storm frequency and/or severity (wind, waves and maximum/minimum levels) and increase temperatures. Although climate change science has made considerable breakthroughs over the past decade, there is still a great deal of uncertainty regarding exactly what the risks and impacts are. In view of the above, coastal ports and cities need to have a greater in-depth understanding where potential climate changes and variability are concerned, and it is essential to know what negative impacts there could be, the scale on which they could take place and how such occurrences can be managed in a sustainable and safe way.

Cambios en las dinámicas

El nivel del mar ha aumentado en el pasado siglo con aceleraciones en las últimas décadas atribuidas a un calentamiento global, con tasas entre 3.2 ± 0.4 y 2.8 ± 0.8 mm/yr, a partir de datos de satélites e instrumentales, respectivamente, desde 1993 a 2009 (Church and White, 2011). En cuanto a las proyecciones de cambio para finales de siglo, la principal fuente de información es el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC) de las Naciones Unidas, que en su cuarto informe establece escenarios de hasta 59 cm (Meehl et al., 2007). Sin embargo, algunas contribuciones al nivel del mar, como el deshielo de los polos, ha sido infraestimado. Durante los últimos años son varios los estudios que predicen aumentos de al menos 1 m para finales de siglo (e.g., Pfeffer et al., 2008; Vermeer and Rahmstorf, 2009). La Figura 2 muestra una comparativa de los distintas cifras manejadas en el estado del arte más reciente.

Pese a que el nivel del mar y el ascenso de temperaturas han sido los cambios más extensamente estudiados, parece estar ocurriendo también una variación de los temporales en los océanos, que puede presentar particular relevancia para los puertos y las ciudades costeras. Varios estudios han encontrado evidencias de cambios de largo-plazo en la intensidad y en la frecuencia e intensidad de las tormentas durante las últimas décadas (e.g., McCabe et al., 2001), mostrando un aumento de la actividad en altitudes altas del Hemisferio Norte. La consecuencia directa es la modificación de los campos de viento y el oleaje registrado, tanto en sus condiciones medias como extremas (e.g., Menéndez et al., 2008; Young et al., 2011). Las proyecciones para finales de siglo (i.e. a partir de escenarios climáticos y modelos climatológicos globales) también muestran (e.g., Semedo et al., 2011) grandes cambios en latitudes medias a altas asociados principalmente a la disminución de la cobertura de hielo (i.e. mayor fetch disponible) y los cambios en los patrones de las borrascas en las latitudes medias. Pese a que su relación con el cambio climático todavía está bajo deba-

Fig. 1. Barreras de inundación en el Támesis.
Fuente: Wikipedia.org
Thames Flood Barriers. Source: Wikipedia.org



Fig. 1

The Science of Climatic Change and its Relationship with Coastal Ports and Cities

As far as port matters are concerned, there is a misguided trend towards approaching the climate change problem exclusively in carbon footprint terms. Most ports do not seem to be considering the potential impact of climate change, let alone preparing for it. The reasons for this are manifold, ranging from a lack of information or a lack of diffusion of such information, to the difficulties involved in calculating the consequences of climate change to the required space and time scales.

Changes in the dynamics

In the last one hundred years, the sea level has risen, and in the last few decades it has done so at a faster rate, which has been attributed to global warming. According to data collected by satellites and provided by instruments, the values have ranged from 3.2 ± 0.4 to 2.8 ± 0.8 mm/yr, respec-

tively, between 1993 and 2009 (Church and White, 2011). As far as climate change predictions for the end of the century are concerned, the main source of information is the United Nations Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), which in its fourth report establishes scenarios of up to 59 cm (Meehl et al., 2007). However, some contributions to the sea level, such as the thawing of the Poles, have been underestimated. In recent years, several studies have forecast rises of at least 1 m by the end of the century (e.g., Pfeffer et al., 2008; Vermeer and Rahmstorf, 2009). Figure 2 shows a comparison between the different figures used in the most recent state of the art studies.

In spite of the fact that rises in the sea level and the temperature have been studied the most extensively, changes would also seem to be taking place in ocean storm patterns, which could be of particular importance to coastal ports and cities.

te, existen también evidencias de un aumento del número de huracanes en las últimas décadas (e.g., Knutson et al., 2010).

Impactos

Los cambios en las condiciones climáticas agravarán problemas ya existentes en las costas del planeta. Los principales impactos en las zonas costeras en general son: la erosión, la modificación de los estuarios, variaciones del transporte sedimentario costero (Figura 3), intrusión salina en los acuíferos y cursos fluviales, inundaciones y aumento de los eventos extremos (viento, nivel o oleaje) con daño a las infraestructuras (Nicholls, 2011).

Con respecto a las ciudades costeras, es de especial relevancia destacar las inundaciones y la erosión de la costa. En ambos casos se produce una doble dimensión del problema, una de largo-plazo y otra asociada a eventos extremos puntuales, pero en cualquier caso con severas consecuencias. Estos son ya problemas actuales pero que sin duda se verán exacerbados en el futuro en muchos lugares por cambios en las condiciones climáticas.

Los puertos verán afectadas tanto sus infraestructuras como su régimen de operaciones. Una consecuencia directa de la subida del nivel del mar sería una disminución del francobordo de los diques, con la consecuente variación del régimen de rebase actual. La navegabilidad bajo puentes o puertos en bahías y la variación de las bocanas también podrían verse afectados. No obstante, este efecto tendría lugar en el largo plazo, aunque dependerá del régimen mareal de cada lugar, ya que un determinado cambio puede tener distinta importancia en regímenes macro y micro-mareales.

Fig. 2

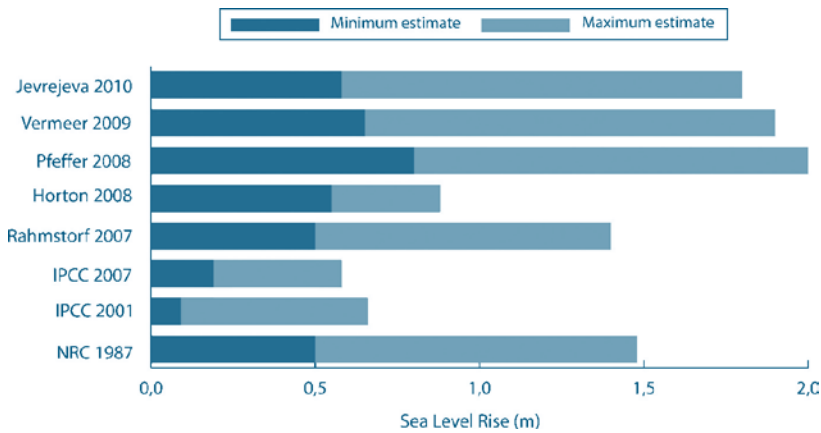


Fig. 2. Comparación entre distintas estimaciones para el nivel del mar en 2100. Fuente: Modificado de USACE (2011)
Comparison between the different estimations made in 2010 for the sea level rise in 2100. Source: Modification to USACE (2011)

Several studies have found evidence of long-term changes in the intensity and in the frequency and intensity of storms over the last few decades (e.g., McCabe et al., 2001), revealing an increase in activity at high altitudes in the Northern Hemisphere. The direct consequence is a modification in the wind and wave fields recorded, with respect not only to average conditions but also to minimum and maximum conditions (e.g., Menéndez et al., 2008; Young et al., 2011). The predictions for the end of the century (i.e. obtained from climate scenarios and global climate models) also reveal (e.g., Semedo et al., 2011) major changes in mid latitudes to high latitudes, mainly associated with the reduction in ice cover (i.e. greater fetch available) and changes affecting storms at mid latitudes. Although the relationship between hurricanes and climate change is still being discussed and is not yet firmly established, there has undoubtedly been an increase in the number of such phenomena in the last few decades (e.g., Knutson et al., 2010).

Impacts

Changing climate conditions will accentuate problems that already affect the planet's coasts. The main impacts that will generally affect the coastal zones are: erosion, modifications to estuaries, variations to coastal sediment transport (Figure 3), saline encroachment affecting aquifers and rivers, flooding and an increase in extreme events (wind or wave level) with damage to infrastructures (Nicholls, 2011). Flooding and coastal erosion are a particular cause for concern in the case of coastal cities. The effects of both phenomena are twofold, one being a long-term problem whereas the other is associated with specific extreme events, the consequences being extremely serious in both cases. Although these are problems that are already being faced, changes in climate conditions will undoubtedly accentuate them in the future in many places. Not only port infrastructures but also port operating systems will be affected. One direct consequence of a rise in sea level would be a reduction in breakwater freeboard, leading to a variation in the current

En un horizonte más cercano, el cambio en las borrascas en las zonas de generación puede modificar la intensidad del oleaje y/o su incidencia en los puertos, afectando a la navegabilidad en el acceso a los puertos y modificando su régimen de agitación. A modo de ejemplo, la Figura 4 muestra la modificación del patrón de agitación de un puerto por cambio en la incidencia del oleaje. Puesto que el diseño implica usar información del pasado para inferir condiciones futuras, determinar qué tipos de oleajes serán los más frecuentes en el horizonte de diseño respecto a la actualidad supone un factor cuanto menos relevante. Los extremos de viento, oleaje y marea meteorológica están variando, en muchas costas del mundo aumentando en frecuencia e intensidad. Esto supone daños crecientes en las obras de protección y resto de infraestructura portuaria, el diseño de la mayoría de las cuales no tuvo en cuenta las condiciones futuras cambiantes. Es por ello que actualmente varias normativas y códigos técnicos comienzan a recoger la gestión de estos riesgos en el proceso de diseño. La modificación de la intensidad y en especial, la dirección del oleaje, modificará los balances sedimentarios, que ya en la actualidad suponen un difícil problema a la gestión de dragados y bypasses de arena por su variación inter-anual.

Otros impactos indirectos, nada desdeñables, serán los cambios en la concentración de la población, afección a los patrones de consumo, comercio y turismo, así como la redistribución de necesidades energéticas (espacial y temporal). Aunque de difícil cuantificación y predicción, las condiciones climáticas podrían incidir en los flujos actuales de comercio en los puertos del mundo.

Distintas escalas y suma de efectos

Sin embargo, existen problemas añadidos para el estudio y la consideración de estos impactos, que vienen derivados de las distintas escalas espaciales y temporales consideradas.

El horizonte de manifestación de los distintos impactos es distinto pero también lo es la ventana temporal en la que se manifiestan (días frente a décadas). Por ejemplo, considérense los impactos cuya manifestación es de largo plazo, como la subida del nivel del mar para finales de siglo y la erosión de la línea de costa, frente a cambios en la intensidad de los eventos de erosión por temporales.

Aunque al hablar de cambio climático se suele pensar en cambios a finales de siglo, la definición del IPCC se refiere a cambios en las condiciones medias o su variabilidad durante un periodo de décadas o mayor, tanto por causas naturales como antropogénicas. El problema es por tanto más general. Las dinámicas marinas dependen en gran medida de los patrones climáticos tales como el El-

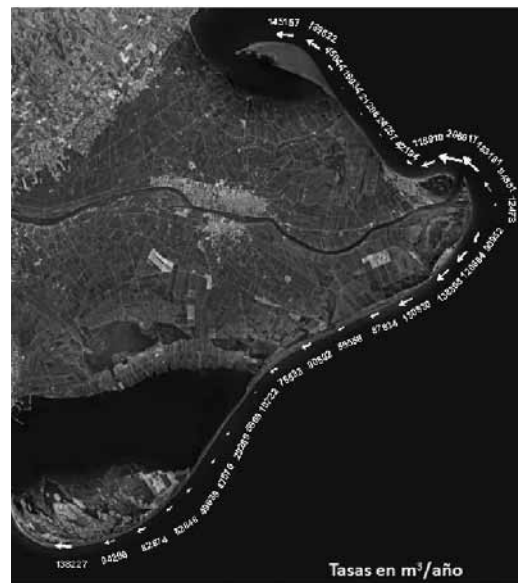
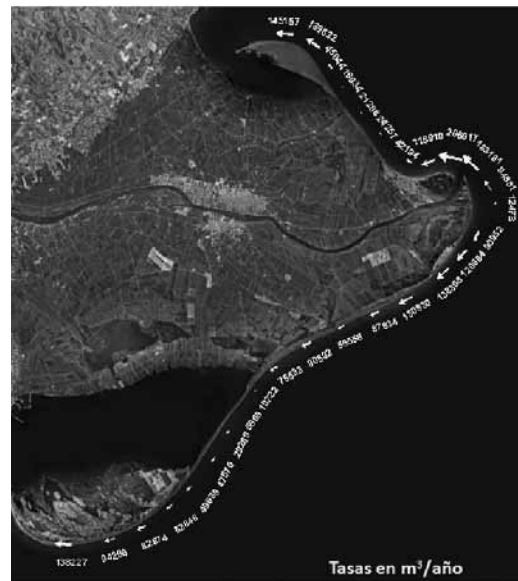


Fig. 3

Fig. 3. Tasas de transporte sedimentario actual y modificación a mediados de Siglo en el Delta del Ebro. Fuente: propia
Current sediment transport rates and expected modifications midway through the 21st Century in the River Ebro Delta. Source: our own resources

overtopping regime. Navigability under bridges or in ports in bays could be affected and the same applies to harbour entrances. However, these would be long-term effects, albeit depending on the tidal regime in each particular place, because a given change could have different consequences in macro- and micro-tidal regimes. More in the short term, a change affecting storms in the generation zones may modify wave intensity and/or wave incidence in harbours, thus affecting navigability at the entrance and modifying the disturbance regime. By way of example, Figure 4 shows the modification to the disturbance patterns in a port as a result of changes in wave incidence. In view of the fact that designing necessarily involves using information from the past to predict conditions in the future, establishing which types of waves will be most frequent in the future when compared to the present is a factor of paramount importance.

Wind, wave and meteorological tide extremes in many of the world's coastlines are changing for the worse, increasing in both frequency and inten-

sity; this is a phenomenon that causes increasing damage to protection works and the rest of the port infrastructures, most of which were designed without taking into account changing conditions in the future. That is why many technical codes and regulations are now beginning to include the management of these types of risks in the planning and designing processes.

Any modifications that affect wave intensity and, especially, wave direction, will modify the sediment balances, a difficult problem that is already being faced by those involved in dredging management and sand by-passes because of their year-on-year variations.

Other indirect impacts that must not be taken lightly will be changes in population concentrations, which will affect consumption, trade and tourism patterns, not to mention a redistribution in energy needs (in both time and space). Although these are difficult to quantify and predict, climate conditions could have a bearing on current trade flows in the world's ports.

Niño o la Oscilación del Atlántico Norte (NAO; e.g. Izaguirre et al., 2011), que varían en la escala de varios años (i.e. variabilidad inter-anual) y que también es necesario considerar en el diseño y en la gestión costera y portuaria.

Otra visión de los impactos del clima que se debe tener en consideración es que resultan de la suma de efectos entre las distintas dinámicas. Como ejemplo, considérese la inundación costera o el rebase sobre un dique donde el impacto final resulta de una combinación entre el nivel medio, las mareas (astronómica y meteorológica) y el oleaje, pudiendo dominar en cada caso alguna o ser su combinación lo que genera el impacto (Figura 5). Esto hace necesario considerar el problema con una visión de conjunto y no aislada de cada acción.

Retos y oportunidades para la planificación

La vida útil típica de muchas de las infraestructuras marinas es de 40 o 50 años, los horizontes de planificación de los puertos son incluso menores, de 5 a 10 años, mientras que las estimaciones del nivel del mar consideran los próximos 80-90 años, aunque los cambios en los temporales podrían ocurrir en un horizonte menor. La adaptación de los puertos a condiciones socio-económicas rápidamente cambiantes hace no concebir los impactos del clima más allá de lo esperable en los horizontes de su planificación. No obstante, ya se están llevando a cabo medidas

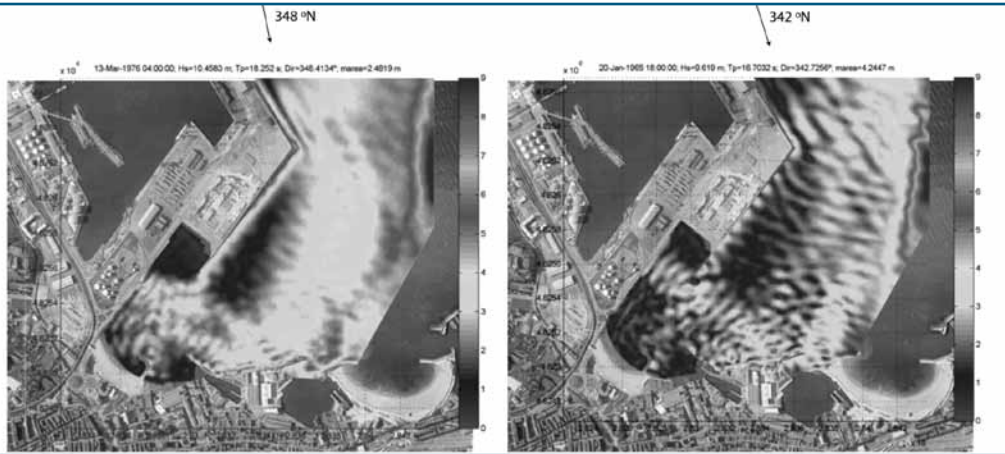


Fig. 4. Ejemplo de cambio en los patrones de agitación ante distintas incidencias del oleaje

Example of how different wave incidents affect the disturbance patterns



Fig. 5. Inundación en Nueva Orleans tras la marea meteorológica generada por el huracán Katrina (2005) y rebase de un temporal de oleaje sobre el dique principal del puerto de Bermeo (Norte de España). Fuente: NOAA y prensa local, respectivamente.

Flooding in New Orleans after the meteorological tide generated by Hurricane Katrina (2005) and the main breakwater at the Port of Bermeo (Northern Spain) being overtopped during a storm. Source: NOAA and the local press, respectively

Different scales and cumulative effects

However, there are further problems when it comes to studying and analysing these effects, which arise from the different time and space scales considered.

The various impacts do not always appear within the same time horizons, and the same applies to the time scales in which they occur (days as opposed to decades). For example, consider the impacts that appear in the long term, such as the sea level rise by the end of the century and coastal erosion, and compare these to changes in the intensity of the erosion events caused by storms.

Although when one refers to climate change one is generally thinking about changes at the end of

the century, the IPCC definition refers to changes in the average conditions or their variability over a period of decades or even longer, whether they are brought about by natural or anthropogenic phenomena. Therefore, the problem is more general. To a large extent, marine dynamics depend on such climatic patterns as El Niño or the North Atlantic Oscillation (NAO; e.g. Izaguirre et al., 2011), which vary to a scale of several years (i.e. year-on-year variability), and these are phenomena that must also be considered when it comes to coastal and port design and management.

Another aspect of the climate impacts that has to be taken into account is that they are a result of the cumulative effects of the various dynamics

en muchos países para afrontar posibles futuras consecuencias. La integración de estos factores en los criterios de diseño para las infraestructuras costeras (e.g., USACE, 2011) y en la planificación portuaria (e.g., USEPA, 2008) es un primer paso. Los cambios climáticos sólo son algunos de los retos que afrontan las zonas costeras en el futuro. Del mismo modo que los puertos deben considerar la adaptación de sus infraestructuras a la era Post-Panamax con mayores calados y tráfico, los factores climáticos se pueden incluir en la planificación con vistas a la optimización del servicio y el diseño. La planificación urbana deberá acomodarse a su vez a las restricciones de las acciones costeras como un condicionante más si se pretende alcanzar un desarrollo sostenible y seguro. Si bien la inercia del desarrollo socioeconómico hace necesario que esta problemática sea ya tenida en cuenta, no es menos cierto que las medidas de protección requieren algunos pocos años para construirse con respecto a cambios de largo plazo, como la subida del nivel del mar para finales de siglo. Pero las medidas de protección no son la única solución. Las opciones de gestión estratégica (Nicholls et al., 2008) pueden resultar de la combinación de: 1. desarrollo y actualización de la infraestructura; 2. gestión de la subsidencia; 3. planificación de los usos del suelo para reducir la vulnerabilidad actual, prevenir el desarrollo fuera de zonas de peligro y reservar suelo para actuaciones de defensa o infraestructura; 4. relocalización selectiva en zonas fuera de riesgo; y 5. planes de actuación y emergencia, especialmente importantes en regiones en desarrollo con menos medios de protección. No obstante, las protecciones no están libres de fallos. Entre otros, la infravaloración de las acciones de cálculo en un clima cambiante puede ser un factor clave. Los cambios en esta doble dimensión de la realidad socioeconómica y de las condiciones del medio físico, durante el ciclo de vida de las infraestructuras costeras, deberían ser tenidos en cuenta en el diseño. Existe así una relación íntima de doble sentido entre el desarrollo y el clima cambiante. Una gobernanza adecuada de esta problemática es necesaria a la escala local, pero bajo una perspectiva integradora superior.

involved. By way of example, consider coastal flooding or breakwater overtopping where the final impact is a consequence of a combination of the average level, the tides (astronomical and meteorological) and the waves, the impact in each case being generated either by one of these or by a combination of all three (Figure 5); this makes it necessary to consider the problem by having an overview of the whole and not by looking only at the isolated effects of each particular action.

Planning Opportunities and Challenges

The working life of many marine infrastructures ranges from 40 to 50 years, the planning horizons for ports and harbours are even shorter, from 5 to 10 years, whereas sea level estimations consider the next 80 to 90 years, although changes in storm severity could occur in shorter time periods. Having to adapt ports to rapidly-changing socio-economic conditions means that expected climate impacts are not taken into account beyond the planning horizons concerned. Nevertheless, measures are now being taken in many countries to cope with potential future consequences. Incorporating these factors into the coastal infrastructure design criteria (e.g., USACE, 2011) and port planning (e.g., USEPA, 2008) is a first step in the right direction. Climate change is just one of the challenges that face coastal zones in the future. Climate factors could be included in planning with a view to optimising the service and design in much the same way as ports have to consider adapting their infrastructures to the Post-Panamax era with greater

drafts and heavier traffic. Meanwhile, if safe and sustainable development is to be achieved, urban planning must adapt to the restrictions imposed by coastal actions as yet another determinant.

Although the inertia of socio-economic development requires this problem to be considered right now, it is likewise true to say that protective measures will take quite a few years to be implemented if they are to take into account long-term changes such as the sea level rise by the end of the century. However, protective measures are not the only solution. Strategic management options (Nicholls et al., 2008) can be a consequence of: 1. developing and updating the infrastructure; 2. subsidence management; 3. planning land use with a view to reducing the current susceptibility, envisaging development beyond the risk zones and reserving land for flood defence or infrastructure activities; 4. the selective relocation of zones beyond the risk area; and 5. plans of action and emergency, which are particularly important in developing regions where there are less protective measures. However, protective measures are by no means perfect. For example, underestimating calculation activities in an ever-changing climate scenario can be a vital factor. The changes that affect both the socio-economic reality and the conditions in the physical environment during the useful life cycle of a coastal infrastructure ought to be taken into account in the design process. There is a close two-way relationship between development and a changing climate. These matters must be dealt with through control at a local level but this must be coordinated from above in a comprehensive way.

Bibliografía / Bibliography

- Church, J., and White, N. *Sea-Level Rise from the Late 19th to the Early 21st Century. Surveys in Geophysics*, 32:585-602. 2011. Doi: 10.1007/s10712-011-9119-1.
- Knutson, T.R., McBride, J.L., Chan, J., Emanuel, K., Holland, G., Landsea, C., Held, I., Kossin, J.P., Srivastava, A.K. and Sugi, M. *Tropical cyclones and climate change. Nature*, 3:157-163, 2010. Doi: 10.1038/ngeo0779.
- McCabe, G.J., Clark, M.P. and Serreze, M.C. Trends in Northern Hemisphere surface cyclone frequency and intensity. *Journal of Climate*, 14:2763-2768, 2001.
- Meehl, G.A., Stocker, T.F., Collins, W.D., Friedlingstein, P., Gaye, A.T., Gregory, J.M., Kitoh, A., Knutti, R., Murphy, J.M., Noda, A., Raper, S.C.B., Watterson, I.G., Weaver, A.J. and Zhao, Z.-C. *Global climate projections*, chapter Global climate projections, pages 747-846. 2007. In S. Solomon et al., 2007.
- Menéndez, M., Méndez, F. J., Losada, I. J., Graham, N. E. *Variability of extreme wave heights in the northeast Pacific Ocean based on buoy measurements*, *Geophys. Res. Lett.*, 35, L22607, 2008. Doi: 10.1029/2008GL035394.
- Nicholls, R.J., Hanson, S., Herweijer, C., Patmore, N., Hallegatte, S., Corfee-Morlot, J., Chateau, J., Wood, R.M. *Ranking port cities with high exposure and vulnerability to climate change extremes: Exposure estimates. OECD Environment Working Papers*, No. 1, OECD publishing. 2008. Doi: 10.1787/011766488208.
- Nicholls, R.J. *Planning for the impacts of sea level rise. Oceanography*, 24(2):144-157, 2011. Doi: 10.5670/oceanog.2011.34.
- Pfeffer, W T, Harper, J T and O'Neel, S. Kinematic constraints on glacier contributions to 21st-century sea-level rise. *Science*, 321(5894):1340-3. 2008.
- Semedo, A., Beherens, A., Bengtsson, L., Günther, H., Sterl, A. and Weisse, R. *Impact of a warmer climate on the global wave field*. 2011.
- USACE. *Sea-level change considerations for civil works programs*. US Army of Engineers, 2011.
- USEPA. *Planning for Climate Change Impacts at U.S. ports*. U.S. Environmental Protection Agency. Office of Policy, Economics, and Innovation. *White Paper*, 2008.
- Vermeer, M. and Rahmstorf, S. *Global sea level linked to global temperature*. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 106(51):21527-32. 2009. Doi: 10.1073/pnas.0907765106.
- Young, I.R., Zieger, S. and Babanin, A.V.. Global trends in wind speed and wave height. *Science*, 2011. Doi: 10.1126/science.1197219.