



74. EVALUACIÓN DEL RIESGO POR TSUNAMI EN ZONAS COSTERAS Y ESTRATEGIAS DE ADAPTACIÓN Y MITIGACIÓN.

AUTORES:

I. AGUIRRE AYERBE, Í. ANIEL-QUIROGA, M.S JARA, M. GONZÁLEZ, R. MEDINA.

RESUMEN.

Los eventos de tsunami suponen una amenaza natural de baja frecuencia pero con un gran poder destructivo, que ha causado la pérdida de miles de vidas humanas y ha provocado cuantiosos daños en infraestructuras y comunidades costeras en todo el mundo. En el período comprendido entre el año 2004 y 2013, se estima la pérdida de cerca de 240.000 vidas y de más de 250.000 millones de dólares americanos (GAR-UNISDR, 2015). Los avances en el conocimiento sobre los mecanismos de generación y propagación proporcionan una mejora en el pronóstico de los impactos que pueden causar los tsunamis sobre las comunidades afectadas.

La evaluación del riesgo permite identificar estrategias de gestión y medidas de reducción de riesgos apropiadas y específicas para cada lugar, integrando de esta manera la reducción del riesgo de desastres en las políticas, la planificación y la programación en todos los niveles, incluyendo la prevención, mitigación, preparación y reducción de la vulnerabilidad, como se subraya en el Marco de Acción de Hyogo (UNISDR, 2005).

El objetivo de este trabajo es la evaluación del riesgo por tsunami y la identificación, recomendación y priorización de medidas de reducción de riesgo específicas. Al mismo tiempo, los resultados de esta evaluación se han integrado en un sistema de alerta temprana multi-riesgo.

El trabajo se ha desarrollado en la costa de Omán, localizada frente a una zona de subducción de alta sismicidad. La metodología desarrollada se centra principalmente en los impactos sobre las personas, integrando el análisis de la peligrosidad, exposición y vulnerabilidad para determinar el riesgo ante tsunami. Para realizar dichos análisis se consideran dos dimensiones: humana e infraestructuras; y dos resoluciones espaciales: escala nacional, incluyendo toda la zona costera del país y escala local, comprendiendo nueve ciudades costeras y una distancia mínima de 20 kilómetros a cada lado de la ciudad.

Este trabajo ha permitido vincular los resultados de la evaluación del riesgo por tsunami con una gestión del riesgo, a diferentes niveles administrativos y a diferentes escalas, enfocada a minimizar los posibles impactos derivados de un tsunami potencial.

INTRODUCCIÓN

El análisis de la peligrosidad, vulnerabilidad y riesgo es esencial para la identificación de las áreas expuestas y de las comunidades y elementos más vulnerables. Los resultados de una evaluación de riesgo permiten la identificación de estrategias y medidas de gestión y de reducción del riesgo apropiadas y orientadas a objetivos y localizaciones específicas.

La finalidad de este trabajo es realizar la evaluación del riesgo por tsunami en Omán como aporte básico y fundamental para diferentes instrumentos de planificación y gestión orientados a la reducción del riesgo. En primer lugar, se ha elaborado un catálogo en el que se describen, identifican y priorizan medidas de reducción de riesgo específicas. De esta manera se logra vincular los resultados de la evaluación de la amenaza, exposición y vulnerabilidad con la gestión del riesgo ante la amenaza de tsunami en el país.

De forma adicional, los resultados de la evaluación del riesgo se han incorporado al Sistema de Alerta Temprana Multi-Riesgo de Omán (MHRAS por sus siglas en inglés). Omán se encuentra localizado frente a la zona de subducción de Makran, un área de alta sismicidad que constituye la mayor fuente de terremotos en la zona oriental de la placa arábiga y Omán (Al-Shaqsi, 2012). Hay al menos tres tsunamis históricos cuya generación se relaciona con un origen sísmico en esta zona de subducción (Heidarzadeh et al., 2008; Jordan, 2008), siendo una de las zonas más importantes en el



océano Índico en cuanto a su capacidad para generar tsunamis. El evento de tsunami con origen sísmico más reciente fue el tsunami de Makran de 1945, que causó más de 4000 muertes y pérdidas materiales en Irán, Pakistán, Omán y los Emiratos Árabes Unidos (Heidarzadeh et al., 2008, Mokhtari, 2011).

Este motivo, junto con el rápido crecimiento y la industrialización que experimenta el país, especialmente en el área de la llanura costera norte del país, la más densamente poblada, muestran la necesidad de desarrollar estudios de peligrosidad, vulnerabilidad y riesgo por tsunami de cara a un planeamiento adecuado de la prevención, preparación y gestión de la emergencia.

METODOLOGÍA

La metodología desarrollada en este trabajo se basa en la definición del riesgo como la probabilidad de pérdidas o consecuencias negativas derivadas de la interacción entre las amenazas naturales o antrópicas y las condiciones de vulnerabilidad de los elementos y personas expuestos a dicha amenaza (adaptado de UNISDR 2004), entendiendo estas consecuencias como los efectos negativos del desastre expresadas en términos de impactos a las personas y a las infraestructuras (adaptado de ISO, 2009). El riesgo (R), que depende del impacto analizado, se entiende así como una función de la peligrosidad, considerando sus características, y de la vulnerabilidad (ec.1), siendo la vulnerabilidad (V) a su vez función de la exposición, la sensibilidad y la resiliencia de los elementos expuestos (ec.2).

$$R = f(\text{Peligrosidad, Vulnerabilidad}) \quad (\text{ec.1})$$

$$V = f(\text{Exposición, Sensibilidad, Resiliencia}) \quad (\text{ec.2})$$

El marco conceptual desarrollado integra los diferentes componentes del riesgo mencionados: peligrosidad, exposición, vulnerabilidad y riesgo y dos dimensiones de estudio, la humana y las infraestructuras. El estudio está centrado en el impacto sobre las personas, no obstante se han analizado también las infraestructuras con el objetivo de considerar las implicaciones que su afección pueda tener sobre la población. Por ejemplo, una industria peligrosa o una infraestructura de abastecimiento afectada aumentan la vulnerabilidad de la población en el área de estudio.

Por último se han integrado dos escalas espaciales: en primer lugar un estudio a escala nacional, el cual nos permite determinar de forma general las zonas que podrían estar más afectadas, para realizar posteriormente un análisis a escala local con una mayor resolución espacial, tanto desde el punto de vista de las dinámicas del proceso físico (la peligrosidad) como de la vulnerabilidad.

PELIGROSIDAD

El primer paso para la evaluación del riesgo es el análisis de la peligrosidad o amenaza por tsunami. Este análisis se ha abordado desde puntos de vista complementarios: la realización de mapas de inundación y la elaboración de una base de datos de escenarios de tsunami, que ha sido la base para el establecimiento del sistema de alerta por tsunami en este país. Para ambos análisis, se ha realizado inicialmente un estudio sismotectónico con el objetivo de conocer y caracterizar las estructuras sísmicas principales con capacidad para generar tsunamis afectando a la costa de Omán (figura 1). Como resultado de este análisis se han obtenido los mecanismos focales de 3181 fuentes que potencialmente pueden generar tsunami en la zona, y cuya magnitud oscila entre $M_w=6,5$ y $M_w=9,25$. El estudio sismotectónico está especialmente centrado en la zona de subducción Makran, que es posiblemente la zona de mayor actividad en el Océano Índico occidental y que se encuentra muy cerca de la costa norte de Omán.

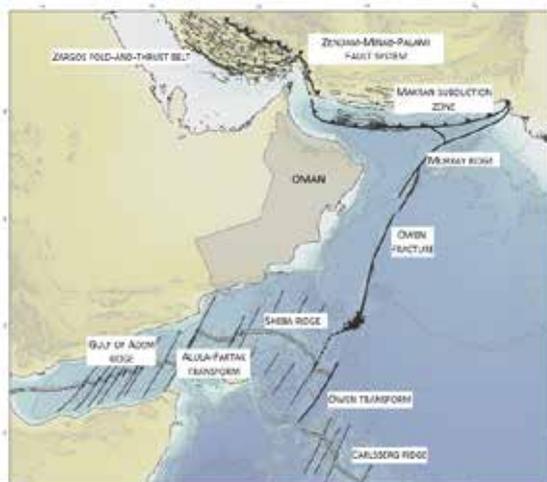


Fig.1 Estructuras sismo-tectónicas principales de la zona de estudio. (Fuente: Álvarez-Gómez, J.A.)



74. EVALUACIÓN DEL RIESGO POR TSUNAMI EN ZONAS COSTERAS Y ESTRATEGIAS DE ADAPTACIÓN Y MITIGACIÓN.

Una vez identificados los 3181 escenarios, se ha generado la deformación inicial de la superficie del mar provocada por cada terremoto y se han propagado numéricamente para ser incluidos como eventos pre-simulados en el sistema de alerta MHRAS. En caso de que se produzca un evento con capacidad para generar un tsunami, el sistema mostrará los resultados del evento pre-simulado más cercano en localización y magnitud (Aniel-Quiroga et al., 2015).

A partir de estos escenarios se ha realizado un análisis determinístico consistente en la selección de los siete peores casos, seis de ellos correspondiéndose con los eventos potenciales de mayor magnitud y el evento histórico de 1945, que tuvo lugar en la zona de subducción de Makran (Heidarzadeh et al., 2008). Tras este análisis se han generado los mapas de peligrosidad a escala local, incluyendo las variables de profundidad, velocidad, arrastre (velocidad * profundidad) y tiempos de llegada. Una vez analizada la amenaza y obtenida el área inundada y sus variables se ha llevado a cabo el análisis de la exposición y de la vulnerabilidad.

VULNERABILIDAD Y RIESGO

El marco desarrollado para abordar e integrar los componentes del riesgo (peligrosidad, exposición y vulnerabilidad) y dimensiones (infraestructuras y humano) tiene su punto de partida en los trabajos de González-Riancho et al. (2014) y Aguirre-Ayerbe et al. (2015) para la evaluación del riesgo por tsunami, los marcos conceptuales MOVE (Birkmann et al., 2013), Turner et al. (2003), y BBC (Birkmann, 2006).

El análisis de la vulnerabilidad debe tener una relación directa con el impacto que se desea analizar en la evaluación del riesgo. En función de este impacto se han seleccionado las variables de la amenaza que puedan tener mayores consecuencias en relación a las personas y a las infraestructuras. En este caso las variables más apropiadas son (i) el arrastre, entendida como la combinación de la profundidad y la velocidad capaz de causar la pérdida de estabilidad en las personas y (ii) la profundidad de la inundación, para determinar el daño que la inundación pueda causar sobre las infraestructuras analizadas.

La vulnerabilidad y el riesgo han sido calculados basándose en el análisis determinista de la peligrosidad o amenaza, lo cual permite identificar, localizar y cuantificar las consecuencias o efectos negativos previstos para el peor escenario posible. Para su evaluación se ha desarrollado un sistema de indicadores con el apoyo de un sistema de información geográfica, que han permitido combinar información diversa y obtener resultados comparables entre las distintas zonas de estudio.

La selección de indicadores para el análisis de la vulnerabilidad conlleva establecer inicialmente unos criterios específicos. Los criterios establecidos en este caso han sido, para la dimensión humana, (i) la exposición, (ii) la capacidad de la población en cuanto a su movilidad y velocidad para la evacuación y (iii) la capacidad para entender un mensaje de alerta. En el caso de las infraestructuras los criterios han sido (i) la exposición, (ii) los edificios críticos que albergan una gran cantidad de población (colegios, hospitales, etc.), (iii) las instalaciones e infraestructuras de emergencia, (iv) el abastecimiento de necesidades básicas, (v) los impactos en cascada y (vi) los impactos económicos.

INDICES	INDICADORES		VARIABLE
I.V. HUMANA	Exposición Pob.	Población expuesta	Población bajo amenaza
		Grupos de edad sensible	Población edad < 10 y > 65 años
	Sensibilidad Pob.	Necesidades especiales	Población discapacitada
		Analfabetismo	Población analfabeta
		Expatriados	Población expatriada
I.V. INFRAESTRUCTURAS	Exposición Edif. / Infra.	Edificios / Infra. expuestos	Edificios/Infraestructuras bajo amenaza
		Edificios críticos	Edificios críticos (salud, educativos, religiosos, culturales, gubernamentales)
		Emergencia	Infraestructuras de emergencia (policia, bomberos, NCCD, RAFO, RGO)
	Sensibilidad Edif. / Infra.	Abastecimiento	Infraestructuras de abastecimiento: - agua (plantas desalinizadoras) - energia (plantas de energia)
		Infra. peligrosas	Número de infraestructuras peligrosas
		Infra. estratégicas	Número de infraestructuras estratégicas

Tabla 1. Índice e Indicadores de vulnerabilidad.



A partir de estos criterios se ha llevado a cabo la selección de variables para su medición y el establecimiento de los indicadores (tabla 1). Los indicadores se han obtenido normalizando las variables para finalmente constituir los índices mediante una agregación ponderada.

Este sistema de indicadores permite trabajar tanto a nivel de índice o indicador, lo que implica una síntesis de toda la información analizada, como al nivel de las variables de partida. Esto es esencial para una formulación adecuada de medidas de reducción de riesgo.

Una vez obtenidos los índices de vulnerabilidad humana y de infraestructuras, el riesgo ha sido calculado a partir de un matriz de riesgo que combina los índices clasificados de peligrosidad y vulnerabilidad para cada una de las dimensiones analizadas (Greiving et al., 2006; Jelínek et al., 2009; González-Riancho et al., 2014; Aguirre-Ayerbe et al., 2015; ESPON project, 2006; IH Cantabria-MARN, 2010 and 2012 projects). Como consecuencia de esta combinación se obtienen unos resultados cualitativos del riesgo para cada una de las unidades de análisis establecida para cada escala, revelando las zonas en las que se esperan las consecuencias negativas más severas.

MEDIDAS DE REDUCCIÓN DEL RIESGO

De cara a establecer una adecuada planificación y gestión del riesgo y a partir de los resultados previamente obtenidos, se han identificado las áreas de mayor riesgo en las que se recomienda el establecimiento de unas medidas de reducción y unas estrategias de gestión del riesgo específicas, orientadas a reducir la exposición y la sensibilidad y a incrementar el nivel de resiliencia de las zonas potencialmente expuestas. Reducir la vulnerabilidad o la amenaza significa reducir el riesgo; y reducir el riesgo significa reducir la posibilidad de futuros desastres (Cardona, 2003).

El conjunto de medidas de reducción de riesgo presentado pretende disminuir o limitar los impactos adversos de las amenazas y de los desastres relacionados, a través de diversas estrategias y enfoques y considerando objetivos específicos dirigidos a la reducción del riesgo. La tabla 2 muestra la clasificación preliminar desarrollada (UNFCC, 1999; Nicholls et al., 2007; UNESCO, 2009a; Linham et al., 2010; Aguirre-Ayerbe et al., 2015).

El proceso para establecer las recomendaciones de las medidas de reducción de riesgo ha sido apoyado por un grupo de trabajo compuesto por un panel de expertos locales e internacionales en materia de inundaciones costeras y gestión del riesgo.

	Estrategia	Enfoque	Medida	Objetivo específico
Prevenición	Estructural		Muros costeros	Reducción de la peligrosidad
			Espigones, diques y rompeolas	
			Barreras móviles y motas de cierre	
	Restauración de la franja costera		Relleno de terrenos ganados al mar	Reducción de la peligrosidad
			Retroceso controlado de la línea de costa	
			Regeneración de playas	
Ordenación territorial, urbanismo y criterios constructivos		Dunas artificiales y regeneración de dunas	Reducción de la sensibilidad	
		Arrecifes naturales y vegetación de la ribera del mar		
		Rehabilitación de humedales		
Preparación	Evaluación y cartografía del riesgo		Códigos técnicos de construcción y buenas prácticas	Reducción de la exposición permanente
			Métodos de construcción a prueba de inundaciones	
			Deslindes del domino público	
	Social e institucional		Análisis de la peligrosidad, vulnerabilidad y riesgo	Reducción de la vulnerabilidad
			Sensibilización	
			Formación / capacitación institucional	
Emergencia		Educación	Reducción de la vulnerabilidad y fomento de la evacuación (reducción de la exposición temporal)	
		Sistemas de Alerta Temprana		
			Planeamiento de Evacuación	Fomento de la evacuación (reducción de la exposición temporal)

Tabla 2. Estrategias, enfoques, medidas y objetivos específicos para la reducción del riesgo por tsunami.



74. EVALUACIÓN DEL RIESGO POR TSUNAMI EN ZONAS COSTERAS Y ESTRATEGIAS DE ADAPTACIÓN Y MITIGACIÓN.

De cara a identificar, seleccionar y priorizar las medidas más adecuadas para cada zona a lo largo de la costa de Omán, se ha desarrollado una metodología específica que consta de las siguientes etapas principales. (i) En primer lugar se determinan las unidades de análisis específicas para esta fase del estudio, cuyo objetivo es delimitar áreas, zonas críticas o unidades de gestión que tengan un comportamiento homogéneo y que puedan afrontar problemáticas similares. Para el establecimiento de estas áreas se ha considerado el nivel de riesgo, las principales y más relevantes infraestructuras del país y las zonas críticas debido a factores como áreas de inundación recurrente, zonas turísticas y áreas de especial protección ambiental. (ii) En segundo lugar se selecciona de las medidas preliminares recomendadas (tabla 2), a partir de una matriz de decisión en la que se considera el nivel de riesgo, el sustrato geológico, el uso del suelo, las zonas de conservación ambiental y las zonas críticas. (iii) Finalmente se lleva a cabo una priorización de las medidas seleccionadas con base en los requerimientos, conocimientos y preferencias de los diferentes gestores de la zona costera del país.

RESULTADOS

De acuerdo con las dimensiones y escalas en las que se ha desarrollado el trabajo, los resultados se han obtenido a escala nacional y a escala local, dirigidos a distintos niveles administrativos de gestión y ordenación del territorio y para las dos dimensiones, humana e infraestructuras.

En cuanto a la evaluación del riesgo a escala nacional, los resultados revelan que los niveles de riesgo más altos se corresponden con la costa norte del país, con los máximos valores en los wilayats (dimensión administrativa omaní) de As Seeb, Mutrah y Bawshar. Desde el punto de vista de humano, se ha obtenido una exposición estimada de 46.115, 5.111 y 9.677 personas respectivamente, de los cuales se estima que se encuentran en nivel de riesgo muy alto el 85%, el 58% y el 52% de la población expuesta en cada uno de estos wilayats. Por otro lado, los wilayats con mayor número de edificaciones e infraestructuras expuestas son Saham, As Seeb y As Suwayq con más de 20.000, todas ellas en riesgo medio, alto o muy alto.

A nivel local se han obtenido los resultados para cada una de las 9 zonas estudiadas (L1-L9). A continuación se muestra (figura 2) el detalle de una de las zonas locales (L4) que se corresponde con los valores más altos a nivel nacional, en la que se puede observar la profundidad de la inundación, los niveles de vulnerabilidad y los resultantes niveles de riesgo.

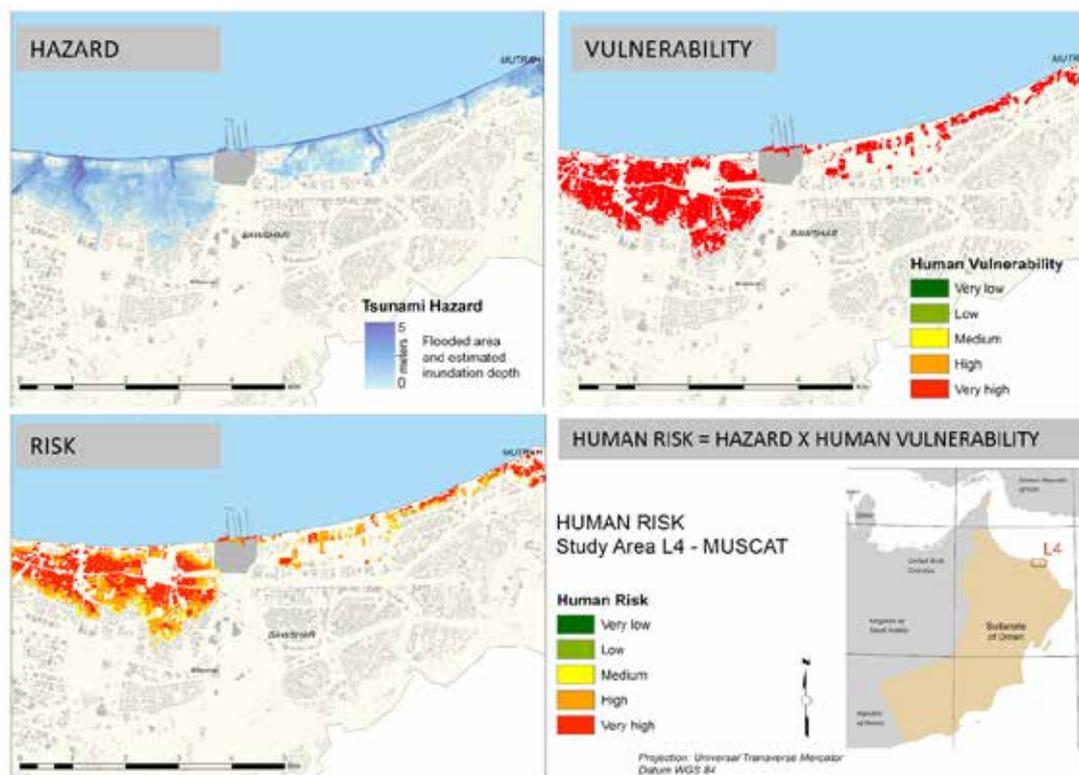


Fig.2. Ejemplo de resultados de la peligrosidad, vulnerabilidad y riesgo a escala local. Zona L4.



Respecto a las medidas de reducción de riesgo, se han desarrollado fichas generales en las que las medidas preliminares desarrolladas (tabla 2). Estas fichas contienen una descripción detallada, incluyendo el objetivo principal de la medida, un esquema gráfico, una descripción detallada, incluyendo costes, un análisis DAFO (debilidades-amenazas-fortalezas y oportunidades) y los principales actores relacionados con cada una de las medidas. Se muestra un ejemplo en la figura 3.

Fig.3. Ficha ejemplo de medida de reducción del riesgo

		NATURE-BASED PREVENTION MEASURES		ARTIFICIAL SAND DUNES AND DUNE REHABILITATION		NA.3																
DESCRIPTION	GOAL	Protection of the coastal lowlands at the back of the beach by blocking coastal flooding due to storm surge and the incoming waves, including tsunamis. Creation of a buffer of beach sediments.																				
	RATIONALE	It is the formation (artificial sand dune) or stabilization (natural dune rehabilitation) of an elevated sand barrier in the back of the beach. It provides coastal flooding protection up to the dune crest height against storm surge or tsunamis and it stores sediment during calm conditions and supply it to the beach when it is hit by high energy wave conditions (French, 2001) contributing to erosion reduction by a more efficient dissipation of wave energy and preventing inland from erosion.																				
	PRELIMINARY REQUIREMENTS	<ul style="list-style-type: none"> Public and municipal officials acceptance. Availability of dredging material. Environmental impact assessment in the target and dredging areas. Periodic maintenance funding plan. 	SUPPLEMENTARY MEASURES	<ul style="list-style-type: none"> Managed realignment; beach nourishment; living shorelines. Coastal set-backs Flood Hazard/vulnerability/Risk mapping and assessment. Capacity building. 																		
	EFFICIENCY	High efficiency regarding coastal flooding due to both storm surge or tsunamis. It provides flooding protection up to the dune crest height against neither mean sea level rise due to storm surge or tsunamis.	DURABILITY	Temporary: Dunes are highly dynamic coastal features which depend on wave and wind conditions. They might require rehabilitation programs on a regular basis.																		
	COST	<ul style="list-style-type: none"> Initial cost: Similar to beach nourishment costs in terms of cost per cubic meter of sediment used: 3 - 12 US\$/m³ (Linham et al. 2010). Sand dunes stabilization requires extra costs for the installation of fences, naturally occurring materials such as branches and reed sticks (Nordstrom & Arens, 1998) or planting vegetation. Maintenance cost: Sand dunes often require replacement of sand in cases of important sediment disequilibrium (Nordstrom & Arens, 1998). 																				
STAKEHOLDERS	<ul style="list-style-type: none"> Diwan of Royal Court MICA, MoI, MHC, MoI, MEW, MOG SCP MACDA Municipalities. Private contractors/developers. 		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">Estimated current capacity for implementation in Oman (scores 0-2)</th> </tr> <tr> <th>Institutional</th> <th>Economic</th> <th>Technology</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.6</td> <td>1.3</td> <td>1.6</td> </tr> <tr> <th>Social</th> <th>Legal</th> <th>Overall</th> </tr> <tr> <td>1.2</td> <td>1.3</td> <td>1.4</td> </tr> </tbody> </table>			Estimated current capacity for implementation in Oman (scores 0-2)			Institutional	Economic	Technology	1.6	1.3	1.6	Social	Legal	Overall	1.2	1.3	1.4		
	Estimated current capacity for implementation in Oman (scores 0-2)																					
Institutional	Economic	Technology																				
1.6	1.3	1.6																				
Social	Legal	Overall																				
1.2	1.3	1.4																				
		EXAMPLES: <ul style="list-style-type: none"> Sand dunes of Los Enebrales, Huelva (Spain) <small>Source: UICN, AFCD</small> Coastal sand dune system, North of Duqm (Oman) <small>Source: IH Cantabria</small> Dune stabilization with fences at Rousillon (France) <small>Source: UICN, AFCD</small> Vegetation planting at the dunes of Trigg beach, Perth (Australia) <small>Source: www.mingor.net</small> 		SUITABILITY: SWOT ANALYSIS																		
				STRENGTHS <ul style="list-style-type: none"> Highly efficient protection measure against coastal flooding from both tsunamis and storm surge. Sand dunes prevent coastal erosion. Sand dunes occur naturally in many beaches. Sand dunes also provide a valuable coastal habitat for many highly specialized plants and animals. 	WEAKNESSES <ul style="list-style-type: none"> Dunes are fragile features: fences for sand stabilization, vegetation planting, replacing of sediments or reshaping of the dune are often required. Limited to the availability of large volumes of sand. Restricted access for recreational purposes by the public is required due to some rehabilitation methods. 																	
				OPPORTUNITIES <ul style="list-style-type: none"> As dunes provide an evident coastal defense, they may encourage sustainable development within the coastal zone. The construction of artificial dunes may enhance the ecological value of the site. Dune construction or restoration programs can be linked to environmental education initiatives. 	THREATS <ul style="list-style-type: none"> Land occupation in areas highly appealing for development. As dunes represent a barrier to beach access, sea sightseeing and land development may receive local opposition. 																	
				REFERENCES <ul style="list-style-type: none"> Charlier, R.H. and De Meyer, C.P. [1998] Coastal Erosion: Response and Management, Volume 70. Berlin: Springer Verlag French, P.W. [2001] Coastal defences: Processes, Problems and Solutions. London: Routledge. Linham, M.M., Green, C.H. and Nicholls, R.J. [2010] AVORD Report on the Costs of adaptation to the effects of climate change in the world's large port cities. Nordstrom, K.F., Jackson, N.L., Bruno, M.S. and de Butts, H.A. [2002] Municipal initiatives for managing dunes in coastal residential areas: a case study of Avalon, New Jersey, USA. Geomorphology, 47 (2-4), 137-152. 																		

Para cada una de las nueve zonas locales se ha realizado una identificación, recomendación y priorización de medidas específicas, según la metodología descrita.

En la siguiente figura se muestra el listado priorizado de las medidas recomendadas para la reducción del riesgo por tsunami en la unidad de análisis de L4-02. Cabe destacar que en esta unidad las primeras medidas recomendadas y priorizadas se corresponden con medidas de preparación, incluyendo la evaluación y cartografía del riesgo, la sensibilización, la educación y la formación y capacitación institucional. También destaca como tercera medida recomendada el establecimiento de un sistema de alerta temprana, una medida enfocada a la emergencia.

Fig. 4. Ejemplo de la recomendación y priorización de las medidas para la unidad de gestión L4-02



74. EVALUACIÓN DEL RIESGO POR TSUNAMI EN ZONAS COSTERAS Y ESTRATEGIAS DE ADAPTACIÓN Y MITIGACIÓN.

Muscat		L4-02
Risk Class: Very High		
Geology: Bare consolidated		Land Cover: Covered by vegetation
Selected mitigation measures by order of preference		
Highly Recommended:		
RA. 1	Flood Mapping and Assessment	
Recommended:		
PR. 1	Raising awareness	
EM. 1	Early Warning Systems	
PR. 3	Education	
EM. 2	Evacuation planning	
PR. 2	Capacity building	
EN. 2	Breakwaters	
NA. 3	Artificial sand dunes and restoration	
PL. 3	Coastal setbacks	
PL. 1	Building standards	
EN. 4	Land claim	
NA. 2	Beach nourishment	
PL. 2	Flood proofing	
EN. 1	Seawalls and sea dykes	
EN. 3	Movable barriers and closure dams	



Esta recomendación y priorización de medidas, junto con las fichas descriptivas descritas anteriormente, supone un instrumento de gran utilidad en la planificación y gestión del riesgo por tsunami en la costa de Omán.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Gobierno del Sultanato de Omán (MTC), Dirección General de Meteorología (DGMET), Autoridad Pública para la Aviación Civil (PACA), la financiación del proyecto y el apoyo prestado. Agradecemos igualmente la colaboración del personal de la Comisión Oceanográfica Internacional de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (IOC-UNESCO). Asimismo queremos agradecer al proyecto ASTARTE (Assessment, STRategy, And Risk Reduction for Tsunamis in Europe) por la financiación de la investigación de los dos primeros autores.

REFERENCIAS

- Aguirre-Ayerbe, I., González-Riancho, P., M. S. Jara, Fernández Pérez, P., Aniel-Quiroga, I., Álvarez-Gómez, J. A., González, M., Medina, R., Al-Yahyai, S., 2015. Tsunami vulnerability and risk assessment for the development of planning tools in Oman (submitted).
- Al-Shaqsi, S., 2012. Emergency management in the Arabian Peninsula: A case study from the Sultanate of Oman. Comparative Emergency Management: Understanding Disaster Policies, Organizations, and Initiatives from Around the World. Edited by David McEntire. Available at: (last access 23 September 2014) <http://www.training.fema.gov/EMIWeb/edu/CompEmMgmtBookProject.asp>
- Aniel-Quiroga, Í., Álvarez-Gómez, J. A., González, M., Aguirre-Ayerbe, I., Fernández Pérez, F., M. S. Jara, González-Riancho, P., Medina, R., Al-Harthy, S., Al-Yahyai, S., Al-Hashmi, S., 2015. Tsunami Hazard assessment and Scenarios Database development for the Tsunami Warning System for the coast of Oman (submitted).
- Birkmann, J., 2006. Measuring vulnerability to promote disaster-resilient societies: conceptual frameworks and definitions. In: Measuring Vulnerability to Natural Hazards vol. 1, United Nations University Press, Tokyo, Japan, 9–54.
- Birkmann, J., Cardona, O. D., Carreño, M. L., Barbat, A. H., Pelling, M., Schneiderbauer, S., Kienberger, S., Keiler, M., Alexander, D., Zeil, P., and Welle, T., 2013: Framing vulnerability, risk and societal responses: the MOVE framework, Nat. Hazards, 67, 193–211.
- Cardona, O.D., Hurtado, J.E., Duque, G., Moreno, A., Chardon, A.C., Velásquez, L.S., y Prieto, S.M., 2003. La noción del riesgo desde la perspectiva de los desastres. Marco conceptual para su gestión integral. Programa de Información e Indicadores de Gestión de Riesgos. Universidad Nacional de Colombia, Manizales.
- Cardona, O.D., 2003. The Need for Rethinking the Concepts of Vulnerability and Risk from a Holistic Perspective: A Necessary Review and Criticism for Effective Risk Management. In: Bankoff, G., Frerks, G. and Hilhorst, D (eds). Mapping Vulnerability: Disasters, Development and People. Earthscan Publishers, London.
- González-Riancho, P., Aguirre-Ayerbe, I., García-Aguilar, O., Medina, R., González, M., Aniel-Quiroga, I., Gutiérrez,



- O. Q., Álvarez-Gómez, J. A., Larreynaga, J., and Gavidia, F., 2014. Integrated tsunami vulnerability and risk assessment: application to the coastal area of El Salvador, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 14:1223–1244.
- Greiving, S., Fleischhauer, M., and Lückenötter, J., 2006. A methodology for an integrated risk assessment of spatially relevant hazards, *J. Environ. Plann. Man.*, 49, 1–19.
 - Heidarzadeh, M., Pirooz, M.D., Zaker, N.H., Yalciner, A. C., Mokhtari, M., Esmaeily, A., 2008. Historical tsunami in the Makran Subduction Zone off the southern coasts of Iran and Pakistan and results of numerical modeling. *Ocean Engineering*, 35, 774–786.
 - IH Cantabria-MARN: Instituto de Hidráulica Ambiental IH Cantabria, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador MARN. 2010. Catálogo de Peligrosidad debida a la inundación por Tsunami en la costa de El Salvador, Spanish Agency for International Development Cooperation (AECID), available at: <http://www.ihcantabria.com/es/proyectos-id/item/839-tsunami-hazard-el-salvador> (last access: 1 December 2014), (in Spanish).
 - IH Cantabria-MARN: Instituto de Hidráulica Ambiental IH Cantabria, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador MARN. 2012. Catálogo de Vulnerabilidad y Riesgo debido a la inundación por Tsunami en la costa de El Salvador, Spanish Agency for International Development Cooperation (AECID), available at: <http://www.ihcantabria.com/es/proyectos-id/item/843-tsunami-vulnerability-risk-el-salvador> (last access: 1 December 2014). (in Spanish).
 - ISO31010:2009. Risk Management—Risk Assessment Techniques. International Electrotechnical Commission / International Organization for Standardization. IEC/ISO, available at: (last access: 17 September 2014) <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iec:31010:ed-1:v1:endetail.htm?csnumber=51073>, 2009.
 - Jelínek, R., Eckert, S., Zeug, G., and Krausmann, E., 2009. Tsunami Vulnerability and Risk Analysis Applied to the City of Alexandria, Egypt, Tsunami Risk AND Strategies For the European Region (TRANSFER Project).
 - Jordan, B.R., 2008. Tsunami of the Arabian Peninsula. A guide of historical events. *Science of Tsunami Hazards* 27: 31-46.
 - Linham, M. and Nicholls, R.J., 2010. Technologies for Climate Change Adaptation: Coastal erosion and flooding. TNA Guidebook Series. UNEP/GEF.
 - Mokhtari, M., 2011. Tsunami in Makran Region and its effect on the Persian Gulf. In: *Tsunami—A Growing Disaster*. Edited by Mohammad Mokharti. ISBN 978-953-307-431-3. Published by InTech.
 - Nicholls, R.J., Cooper, N. and Townsend, I.H., 2007. The management of coastal flooding and erosion in Thorne, C.R. et al. (Eds.). *Future Flood and Coastal Erosion Risks*. London: Thomas Telford, 392-413.
 - Schmidt-Thomé, P. (Ed.). 2006. ESPON Project 1.3.1 – Natural and technological hazards and risks affecting the spatial development of European regions. Geological Survey of Finland.
 - Turner, B. L., Kaspersen, R.E., Matson, P. A., McCarthy, J. J., Corell, R. W., Christensen, L., Eckley, N., Kaspersen, J. X., Luers, A., Martello, M. L., Polsky, C., Pulsipher, A., and Schiller, A., 2003. A framework for vulnerability analysis in sustainability science, *P. Natl. Acad. Sci.*, 100, 8074–8079.
 - UNESCO, 2009a. Hazard Awareness and Risk Mitigation in Integrated Coastal Management (ICAM), IOC Manual and Guides No. 50, ICAM Dossier No. 5, UNESCO, Paris.
 - UNESCO, 2009b. Tsunami risk assessment and mitigation for the Indian Ocean, Knowing your tsunami risk—and what to do about it, IOC Manuals and Guides No. 52, UNESCO, Paris.
 - UNFCCC, 1999. Coastal Adaptation Technologies. Bonn: UNFCCC.
 - UNISDR (United Nations International Strategy for Disaster Reduction), 2004. *Living with Risk: a Global Review of Disaster Reduction Initiatives*, 2004 version, UN Publications, Geneva.