



Coloquio Internacional de Estudiantes Geografía y Medio Ambiente

Construcción de un Índice de Vulnerabilidad Costera a escala local: el caso de la provincia de Pacasmayo

Rondón Ramirez, Gustavo (grondon@pucp.edu.pe)
Pontificia Universidad Católica del Perú

Facultad de Letras y Ciencias Humanas
Especialidad de Geografía y Medio Ambiente



PUCP

Resumen

La investigación se centra en responder una pregunta clave que aparece al momento de decidir construir y aplicar un Índice de Vulnerabilidad Costera (IVC) en un territorio determinado: ¿Construimos un IVC que sea replicable en otros espacios costeros o construimos un IVC que sea muy específico para mi zona de estudio? El responder esta pregunta determina distintos aspectos como: la selección de las variables, la escala de recojo de información y la escala de presentación de los resultados, etc. El IVC construido para la provincia de Pacasmayo (La Libertad, Perú) integra variables físicas (geomorfología, tipo de playa, pendiente, y variación de la línea de costa) y variables antrópicas (usos del suelo, ancho de playa y ocupación de la costa). Los datos fueron obtenidos a través de levantamientos de campo y teledetección, incorporados a un Sistema de Información Geográfica (SIG). El estudio identificó que el 5.8% del litoral de la provincia presenta una vulnerabilidad baja, el 82.9% vulnerabilidad media y el 11.3% vulnerabilidad alta. Al considerar únicamente las variables físicas, la vulnerabilidad alta se incrementa considerablemente (32%). En cambio, si solo se toman en cuenta las variables antrópicas, la vulnerabilidad alta disminuye (7.4%).

Palabras clave: Índice de Vulnerabilidad Costera, Sistemas de Información Geográfica, Costa, Pacasmayo

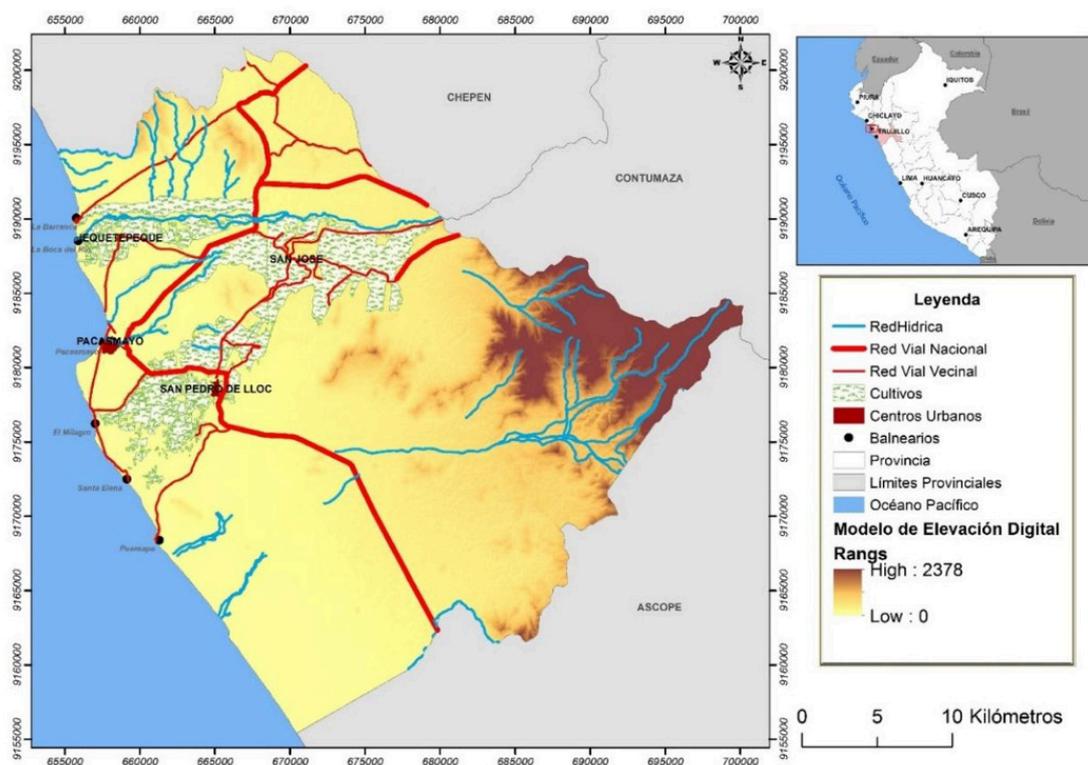
Introducción

Índice de Vulnerabilidad Costera (IVC) (Gornitz, 1991; Gornitz et al., 1997) se basó inicialmente en el empleo de variables netamente físicas (topografía, geología, geomorfología, variación relativa del nivel del mar, variación de la línea de costa, amplitud de marea y altura del oleaje). Más recientemente, y a raíz de los nuevos enfoques sobre la vulnerabilidad (ej.: McLaughlin et al., 2002; Green y McFadden, 2007), se ha procurado combinar las variables físicas con variables antrópicas o sociales (uso del suelo, densidad Poblacional, distancia de la línea de costa, etc.), tal como lo ha realizado Torresan et al. (2012), la Consejería de Medio Ambiente de Andalucía (2011), entre otros.

Otro aspecto importante se refiere a la definición de la unidad de análisis. Un grupo de autores (ej.: Gornitz et al, 1997) utilizaron unidades de análisis basadas en distancias fijas medida en metros, kilómetros o grados. Cada una de las variables fueron analizadas en esos segmentos fijos y el resultado del IVC se presenta de manera espacial dentro de cada segmento previamente establecido. El otro grupo de autores (ej.: Appening, 2013; Doukakis, 2005; etc.) utilizaron como unidad de análisis un segmento de costa definido según las características geomorfológicas (arcos de playas entre puntas rocosas), hidrográficas (límite de cuencas), ambientales o políticas (límites administrativos). En cada una de estas unidades preestablecidas los autores mencionados estimaron valores de vulnerabilidad para a cada una de las variables analizadas. Esta valoración se basó en calificativos como “bajo”, “medio”, “alto” que son generalmente sustituidos por números para aplicar la ecuación del IVC. En cuanto a la ecuación, pese a que varios autores aún mantienen la ecuación original de análisis de la vulnerabilidad (raíz cuadrada del producto del valor de la vulnerabilidad de cada variable sobre el número total de variables), diversos autores (Doukakis, 2005; Gonzales et al, 2010) han probado con variaciones a la ecuación original.

La aplicación metodológica del IVC se encuentra todavía en desarrollo en la costa peruana con el fin de obtener resultados más precisos en cuanto a la predicción de la vulnerabilidad frente a la erosión costera. Esta problemática motivó la elección de una provincia costera, la provincia de Pacasmayo en la región de La Libertad, como un piloto para la construcción y aplicación de un Índice de Vulnerabilidad Costera (ICV) a nivel local que sea capaz de integrar las variables físicas y antrópicas de manera que permita determinar la vulnerabilidad de la mencionada provincia. La provincia de Pacasmayo se encuentra ubicada en la región La Libertad, en el norte del Perú. Se limita con las provincias de Chepén (La Libertad), Ascope (La Libertad) y Contumaza (Cajamarca) y al oeste con el Océano Pacífico (ver Figura N° 1). El litoral de la provincia de Pacasmayo se extiende por casi 7,000 kilómetros y está integrada por cuatro distritos: San Pedro de Lloc, Guadalupe, Jequetepeque y Pacasmayo.

Figura 1.- Mapa de la provincia de Pacasmayo, La Libertad, Perú.



Elaboración propia. Fuentes cartográficas: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Instituto Geográfico Nacional, Instituto Nacional de Estadística e Informática.

Metodología

Hubo varias decisiones metodológicas sobre cómo aplicar el IVC en la provincia de Pacasmayo. Para esto, la disponibilidad de datos ha jugado un rol esencial en la selección de las variables relevantes para discriminar el litoral de la provincia. Así, se ha seleccionado 7 variables que pueden ser divididas en dos grupos: las variables físicas y las variables antrópicas. Respecto a la variable “Geología-Geomorfología”

las categorías fueron definidas mediante el trabajo de campo realizado (recorrido a lo largo del borde costero de la provincia) y mapas geológicos a escala provincial lo que permitió identificar geformas locales como los acantilados “muertos” y “vivos”, llanuras fluvio-marinas o dunas litorales, playas de bolsillo, etc. Respecto a la variable “Pendiente de la playa” es importante mencionar que se levantó la pendiente gracias a perfiles de playa (25 en total, en distintos años), los cuáles permitieron interpolar esa información para toda la provincia. La variable “Tipo de playa” también fue mapeada durante el levantamiento de perfiles de playa y complementada mediante el análisis de las imágenes proporcionados por el software libre Google Earth. Por su parte, la variable “Variación de la línea de costa” fue realizada gracias a la aplicación de la extensión Digital Shoreline Analysis System (DSAS) de la USGS. Para esto, fue necesario georeferenciar mapas a escala 1/25 000 del año 1962, fotos aéreas de escala 1/20 000 del año 1980 e imágenes satelitales de los años 2003, 2011 y 2013 (para mayores referencias, revisar Tavares y Rondón, 2015). Con respecto a la variable “Ancho de playa” si bien podría entenderse como una variable física en el sentido estricto, debido a las categorías que delimitan su nivel de vulnerabilidad basadas en la Ley de Playas del Perú (Ley N°26856), esta entra en la categoría de variable antrópica. Para poder obtener este valor además también se utilizaron los datos levantados en los perfiles de playa, donde en casi la totalidad de casos se realizó el perfil tomando como punto de partida del perfil una infraestructura humana. Luego, al igual que en la variable “Pendiente de la playa” se realizó una interpolación para tener valores para todo el borde costero provincial. La variable “Usos del suelo” por su parte, más allá de tener una referencia en los distintos recorridos realizados en la provincia, se clasificó mediante el uso de imágenes satelitales, identificando los grandes usos del suelo costero. Finalmente, la variable “Ocupación de la costa” resume o condensa distintas variables como el tamaño de la población que ocupa la costa, las actividades que se realizan, la función administrativa que cumple, la infraestructura asentada, etc.

Las unidades de análisis fueron trabajadas de una manera similar a los trabajos como los de Merlotto et al. (2011) y Ramirez (2010), los que pueden servir de ejemplos comparativos. Esta metodología tiene como principio que será cada variable la que determine la vulnerabilidad de la costa, quedando segmentada según su característica, lo cual refuerza el objetivo de identificar la vulnerabilidad de la costa a una escala local, sin forzar categorías ni unidades de análisis. Por esa razón, como se puede apreciar en la Tabla N° 1, a diferencia de la mayoría de autores, no se han clasificado las variables en 5 categorías según su vulnerabilidad, sino que se ha optado por sólo tener 3 categorías: Bajo, Medio y Alto.

Tabla 01.- Matriz de variables físicas y antrópicas utilizadas para el área de estudio. Elaboración propia.

VARIABLES	BAJO (1)	MEDIO (2)	ALTO (3)
Geología- Geomorfología	Acantilado muerto Punta Rocosa	Acantilado vivo Llanura de cordón litoral	Playa de bolsillo Llanura fluvio-marina
Tipo de playa	Playa de canto	Playa mixta	Playa de arena Playa de biodetritos
Pendiente (°)	Entre 6° y 9° Mayor a 9°	Entre 3° y 6°	Menor a 3°
Variación de la línea de costa (m/año)	Mayor a 0.30 m/año	Entre 0.30 m/año y -0.30 m/año	Menor a -0.30 m/año
Ancho de playa (m)	Mayor a 250 metros	Entre 250 y 51 metros	Menor a 50 metros
Usos del suelo costero	Sin uso	Uso agrícola Uso recreacional	Uso residencial Medio-Bajo Uso residencial Alto-Medio
Ocupación de la costa	Sin ocupación Ocupación mixta (cultivos, deportes náuticos)	Balneario estacional Balneario segunda residencia	Puerto

Cálculo del Índice de Vulnerabilidad Costera (IVC) para la provincia de Pacasmayo

El paso final para hallar el IVC en la provincia de Pacasmayo fue definir el método para lograr el resultado total de la vulnerabilidad. En este caso, se optó por una suma de los valores de vulnerabilidad de cada variable (ver Ecuación 1). Para esto, se volvió a formato Raster (.tif) cada una de las líneas segmentadas. Una vez realizado esto y siempre trabajando en el software ArcMap 10.1 se utilizó la herramienta “Raster Calculator” lo cual nos permitió realizar la sumatoria. Una vez realizado esto se pudo dividir en rangos los valores de la vulnerabilidad total para mantener las tres categorías de análisis.

$$IVC=a+b+c+d+f+g \text{ (Ecuación 1)}$$

La división de los intervalos de clase para la vulnerabilidad se realizó teniendo en cuenta que si el valor mínimo posible para todas las variables fuera igual a 1, la sumatoria mínima sería 7; por su lado, si cada variable tuviera el máximo valor que es 3, el valor máximo del índice sería 21. Esta misma ecuación se aplicó para las cuatro variables físicas y las tres variables antrópicas. Evidentemente, los valores totales de la vulnerabilidad física y antrópica serán menores a la vulnerabilidad total (ya no se suman 7 variables, sino 4 para las físicas y 3 para las antrópicas) pero la forma de clasificación de la vulnerabilidad sigue la misma lógica y se resume en el Tabla N° 2.

Tabla 02.- Rangos y valores para el cálculo del IVC en la provincia de Pacasmayo aplicando la Ecuación 1.

Elaboración propia.

VULNERABILIDAD	IVC TOTAL	IVC FÍSICO	IVC ANTRÓPICO
Baja	7 a 11	4 a 6	3 a 5
Media	12 a 16	7 a 9	6 y 7
Alta	17 a 21	10 a 12	8 y 9

Resultado

Una vez categorizadas las variables y según lo expuesto en el capítulo metodológico se procedió a otorgar un valor de vulnerabilidad (Bajo, Medio o Alto) a cada variable (ver Figura N° 4). Según este procedimiento, la variable que tiene un mayor porcentaje de zonas con una vulnerabilidad alta es “Tipo de Playa” con un 72.2%. Le sigue la variable “Variación de la línea de costa” que presenta un 62.6% del total en la categoría de vulnerabilidad alta. Respecto a las variables “Pendiente” y “Geología-Geomorfología” la vulnerabilidad media es la que predomina, con un 50.7% y 51.1% respectivamente. Pasando a las variables antrópicas, se ve que en el “Ancho de Playa” la situación está pareja entre la vulnerabilidad media (43.2%) y la vulnerabilidad alta (44.4%). La situación cambia en las variables “Ocupación” y “Usos” ya que predomina la vulnerabilidad baja, con valores de 81.9% y 75% respectivamente.

A partir de la distribución espacial de los resultados antes expuestos en cifras, se puede señalar que las zonas más vulnerables en la variable “Geología-Geomorfología” son la desembocadura del río Jequetepeque, el balneario de Santa Elena y la playa de Puemape. En la variable “Pendiente” las zonas más vulnerables son las zonas comprendidas entre La Barranca y el balneario Boca del Río, el sur del Faro en Pacasmayo y el balneario de Santa Elena. Por su parte, en el “Tipo de playa”, predomina la vulnerabilidad alta en casi toda la provincia. Finalmente, en la variable “Variación de la línea de costa” desde el balneario de Santa Elena hasta el límite norte de la provincia la vulnerabilidad es predominantemente alta. La variable “Ancho de playa” intenta combinar el ancho de la playa pero ligado principalmente a la instalación de infraestructuras en la playa permite identificar que en todas las zonas donde se encuentra instalada la población la vulnerabilidad predominante es alta o media. Por su parte, para las variables “Usos del suelo” y “Ocupación de la costa” la vulnerabilidad alta se concentra en la zona del puerto de Pacasmayo, Junco Marino, los balnearios de La Barranca, Boca del Río, El Milagro, Santa Elena y Puemape.

Figura N° 4: Mapa de vulnerabilidad para cada variable.
 Elaboración propia. Fuentes cartográficas: MTC, IGN y trabajo de campo.

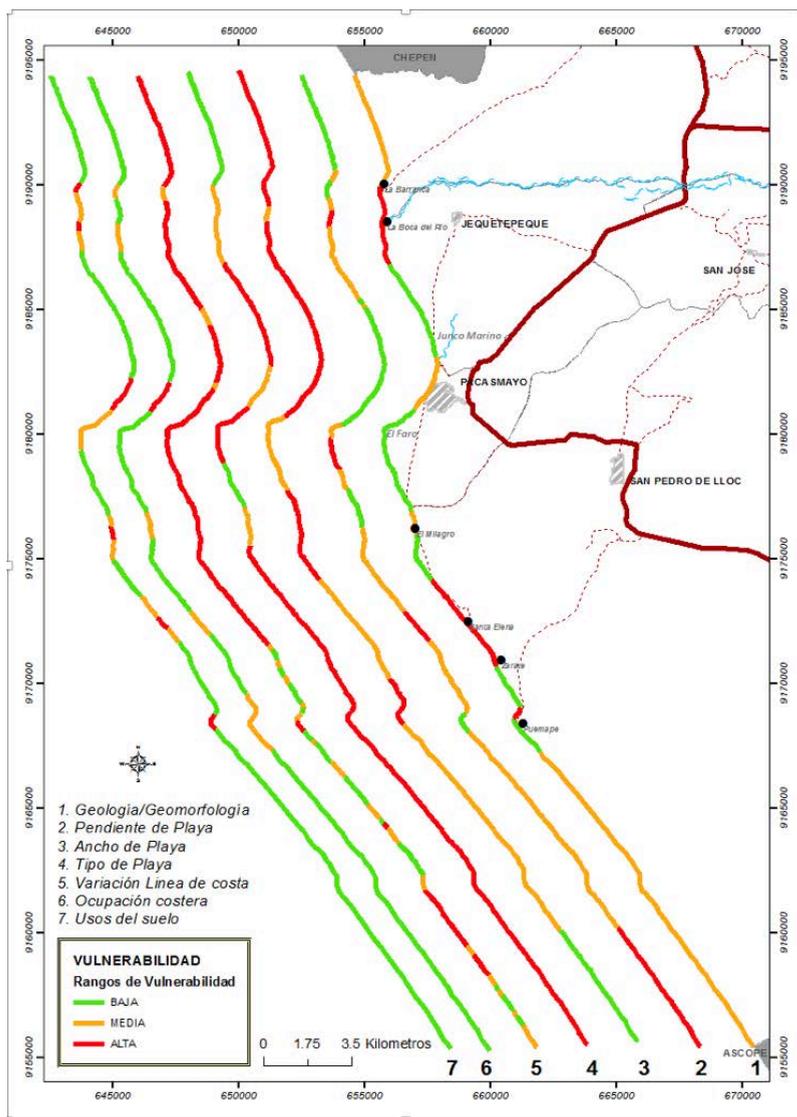
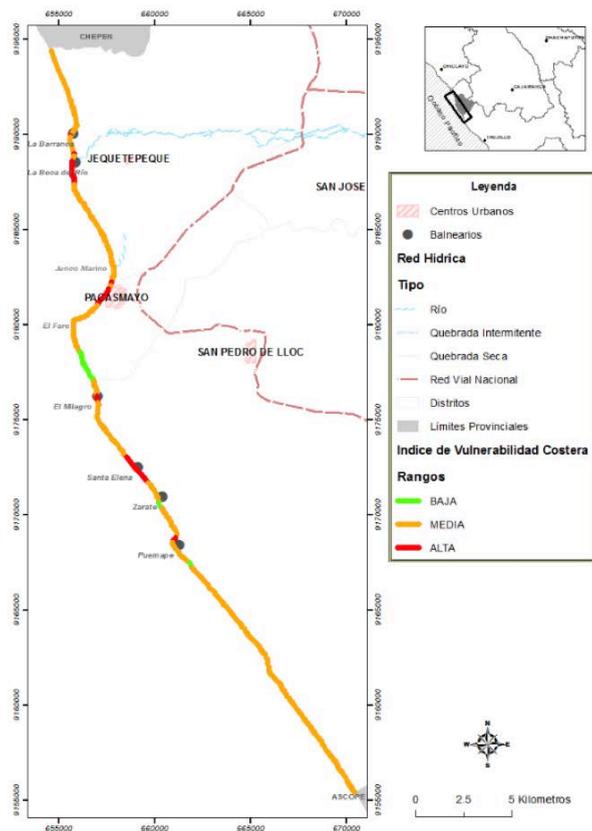


Figura N° 5: Mapa del Índice de Vulnerabilidad Costera para la provincia de Pacasmayo. Elaboración propia. Fuentes cartográficas: MTC, IGN y trabajo de campo.



Finalmente, el resultado de aplicar la Ecuación 1 a los valores de cada variable (ver Figura N° 5) se puede identificar que retirando a las zonas de La Barranca y Junco Marino, son todos los balnearios y el puerto de Pacasmayo las zonas que tienen un IVC Alto y sólo la zona comprendida al sur de El Faro y al norte de El Milagro presenta un IVC Bajo, quedando las zonas restantes con un IVC medio. A nivel de porcentajes en la provincia de Pacasmayo el IVC Bajo representa el 5.8%, el IVC Medio el 82.9% y el IVC Alto el 11.3%.

Discusión

Se ha realizado una comparación del resultado alcanzado del IVC al aplicar dos ecuaciones que, de un lado, sólo considera la sumatoria de las variables (Ecuación 1), y de otro, que calcula la raíz cuadrada del producto de las variables entre el número de variables (Ecuación 2):

$$\sqrt{(a.b.c.d.e.f.g \dots \dots \dots 7)} \text{ (Ecuación 2)}$$

Con esta comparación de resultados se busca resaltar la sensibilidad que tiene la Ecuación 1 con respecto a la Ecuación 2. Los resultados obtenidos en la provincia de Pacasmayo con la Ecuación 1 presentaron valores en el intervalo de vulnerabilidad “Alta”. Aplicando la Ecuación 2, los valores máximos que se obtienen en la provincia de Pacasmayo están sólo en el rango de vulnerabilidad “Baja” (el 52% de la costa) y en vulnerabilidad “Media” (48% de la costa). Esto debido a que los valores que se obtienen luego de aplicar la ecuación del producto de las variables son inferiores a 11.92, valor umbral para poder acceder al rango de vulnerabilidad “Alta”.

Si se analiza la diferencia con respecto al resultado sólo de las variables físicas obtenidas mediante la Ecuación 1 que se describe en Resultados, se aprecia que los valores de vulnerabilidad “Media” se reducen, los de vulnerabilidad “Baja” aumentan y los de vulnerabilidad “Alta” se mantienen casi igual. Con respecto al resultado sólo de las variables antrópicas, con los obtenidos al aplicar la Ecuación 1 se observa que la vulnerabilidad “Baja” disminuye y las vulnerabilidades “Media” y “Alta” aumentan.

Finalmente, comparando los resultados del IVC total se observa que principalmente son el Puerto de Pacasmayo y los balnearios (Santa Elena, El Milagro, Puemape y Boca del Río) los que pasan de ser lugares de “vulnerabilidad Alta” con la Ecuación 1 a ser “vulnerabilidad Media” con la Ecuación 2. Esto demuestra que la ecuación usando la sumatoria de las variables permite obtener una mayor sensibilidad para un análisis más local (integra de manera más fina lo físico y antrópico) y siempre orientando el estudio de la vulnerabilidad costera en el sentido de aportar a los procesos de gestión territorial de manera adecuada.

Conclusión

La escala de trabajo implicó analizar en primer lugar variables que a una escala local fueran relevantes para no caer en generalidades. En segundo lugar, la escala de trabajo obligó a clasificar las categorías de cada variable a nivel local, dejando de lado las grandes clasificaciones aplicadas por la mayoría de autores citados en las referencias metodológicas. Finalmente, y siempre respecto a la escala de trabajo, es innegable que un análisis a nivel local de algunas variables no puede ser aplicado de manera generalizada a otros sectores costeros del país. Sobre este aspecto, fue una decisión tomada pensando en que la aplicación de este IVC sea una herramienta para una correcta gestión del espacio costero a nivel de la provincia y no buscando ser un estudio comparativo con otras regiones costeras.

Bibliografía

- Appeaning Addo, K.**(2013). Assessing Coastal Vulnerability Index to Climate Change: the Case of Accra – Ghana. Proceedings 12th International Coastal Symposium (Plymouth, England), Journal of Coastal Research, 2013, Special Issue No. 65, pp. 1892-1897. ISSN 0749-0208.
- Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía.**(2011). Análisis preliminar de la vulnerabilidad de la costa de Andalucía a la potencial subida del nivel del mar asociado al cambio climático. Fondo de Desarrollo Europeo.
- Doukakis, E.**(2005). Coastal Vulnerability and Risk Parameters. National Technical University of Athens Dept. of Rural and Surveying Engineering Lab. of Higher Geodesy 9. Athens-Greece. E.W. Publications.
- González, D.; Haces, M.; Rangel, L.** (2010). Metodología para valorar índices de vulnerabilidad ante el cambio climático y acciones de compensación en las costas de Tamaulipas. Universidad Autónoma de Tamaulipas, Centro Universitario Tampico-Madero, 89339 Tampico, Tamaulipas.
- Gornitz, V.** (1991). Global coastal hazards from future sea level rise. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology (Global and Planetary Change Section), 89 (1991) 379-398. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam.
- Gornitz, V.; Beaty, T.; Daniels, R.** (1997). A coastal hazards database for the U.S West Coast. Environmental Sciences Division. Publication N° 4590. U.S Department of Energy.
- Green, C. y Mcfadden, L.** (2007). Coastal vulnerability as discourse about meanings and values. Journal of Risk Research, Vol. 10, No. 8, 1027–1045
- Mclaughlin, S.; Mckenna, J.; Cooper, J.** (2002). Socio-economic data in coastal vulnerability indices: constraints and opportunities. Coastal Research Group, School of Biological and Environmental Sciences, University of Ulster, Coleraine, Co. Londonderry, Northern Ireland, BT52 1SA, UK. Journal of Coastal Research, 2002. Special Issue 36.
- Merlotto, A.; Bértola, G.; Piccolo, M.**(2011). Riesgo a la erosión costera en las ciudades de Necochea y Quequén, provincia de Buenos Aires, Argentina. Contribuciones Científicas G/EA, 2011, Vol. 23, pp. 151-158.
- Ramírez, E.** (2010). Estimación de la vulnerabilidad costera ante amenazas hidrometeorológicas de la franja Tijuana-Ensenada. Tesis de Maestría. Tijuana, México.
- Tavares, C; Rondón, G.**(2015). Impacto de la represa de Gallito Ciego en la estabilidad de línea de costa en la desembocadura del río Jequetepeque, Perú. En: Revista Espacio y Desarrollo. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.
- Torresan, S.; Critto, A.; Rizzi, J.; Marcomini, A.** (2012). Assessment of coastal vulnerability to climate change hazards at the regional scale: the case study of the North Adriatic Sea. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 12, 2347–2368.