

**VULNERABILIDAD AL INCREMENTO DEL NIVEL DEL
MAR: ESTRATEGIAS DE ADAPTACIÓN EN EL ÁREA CABO
CODERA-LAGUNA DE TACARIGUA, ESTADO MIRANDA,
VENEZUELA¹**

**Vulnerability to sea level rise: adaptation strategies at Codera cape-
Tacarigua lagoon area, Miranda state, Venezuela**

*María Olivo Garrido, Vidal Sáez-Sáez,
Alberto Martín Zazo y Alejandra Soto Olivo*

RESUMEN

Las investigaciones científicas están corroborando que estamos enfrentándonos a impactos sociales, ambientales y económicos, debido al incremento de temperatura del aire originado por el cambio climático antropogénico. El objetivo de este estudio es evaluar la vulnerabilidad socio-ambiental al incremento potencial del nivel del mar, enfatizando los impactos físicos, específicamente la pérdida de superficie terrestre que puede ocurrir en la zona comprendida desde cabo Codera hasta el extremo más oriental de la laguna de Tacarigua, estado Miranda. Se aplicó la *Metodología común: siete pasos para evaluar la vulnerabilidad* (IPCC, 1992). Se presentan los resultados obtenidos en el quinto paso metodológico, referido a la “formulación de estrategias de respuestas y evaluación de costos”. Se evaluaron los costos preliminares de algunas respuestas de adaptación al incremento del nivel del mar en 0,5 m. con la finalidad de explorar las posibles acciones a seguir para enfrentar la erosión y la inundación potencial: levantamiento de la infraestructura costera existente (12.839,80x10⁶Bs.) y mantenimiento de playas (53,2x10⁶Bs.). Se concluye que los costos de protección estimados para las opciones evaluadas son muy significativos, de manera que la estrategia más viable es proceder a implantar un efectivo *Manejo Integrado de Áreas Costeras*.

¹ Recibido:11-07-2011; Aceptado: 25-02-2012.

PALABRAS CLAVE: Cambio climático, ascenso del nivel del mar, pérdida de tierra, estrategias de respuestas, vulnerabilidad.

ABSTRACT

Scientific research are confirming that we are facing social, environmental and economic impacts due to the air temperature increase caused by anthropogenic climate change. The aim of this study is to assess the socio-environmental vulnerability to the sea level potential rise, emphasizing the physical effects, specifically the loss of land surface that can occur in the area from Codera out to the further east of Tacarigua Lake, Miranda state. It was applied the Common Methodology: seven steps for assessing vulnerability (IPCC, 1992). In this study we present the results obtained in the fifth methodological step related to the "formulation of answer strategies and costs evaluation". There were also assessed the preliminary costs of some adaptation responses to sea level rise by 0.5 m. in order to explore the possible actions to follow to face erosion and potential flooding: upgrading of existing coastal infrastructure ($12.839,80 \times 10^6$ Bs) and maintenance of beaches ($53,2 \times 10^6$ Bs). It is concluded that the protection costs estimated for the evaluated options are really significant, so that the most viable strategy is to implement an effective Coastal Areas Integrated Management.

KEYWORDS: Climate change, sea level rise, land lost, response-answer strategies, vulnerability.

INTRODUCCIÓN

Se ha comprobado una tendencia ascendente de la temperatura promedio superficial del aire durante los últimos años, con un aumento de aproximadamente $0,76$ °C desde finales del siglo XIX, cambio que tiene un componente antrópico (Houghton *et al.*, 2001).

Como consecuencia, nos estamos enfrentando a un cambio climático global, como resultado de las emisiones de origen antropogénico de gases con efecto invernadero, planteamiento cada vez más fortalecido científicamente.

A través de la aplicación de modelos climáticos se ha proyectado el calentamiento a nivel mundial, ubicándose en un rango entre 1,0 a 6,4 °C para fines de este siglo (Magrin *et al.*, 2007), dependiendo de varias hipótesis relacionadas con el aumento de la población, crecimiento económico, uso de la tierra, sector forestal, cambios tecnológicos, disponibilidad y demanda de energía más el uso de combustibles en el período 1990 a 2100.

Entre los impactos del incremento de la temperatura del aire se pueden mencionar la reducción de los glaciares de montaña, la disminución de la cubierta de nieve, el adelanto en la fusión del hielo de ríos y lagos en primavera, los cambios en los patrones hídricos, la disminución de la biodiversidad, la modificación de la biota terrestre y acuática, impactos en la morbi-mortalidad y la tasa acelerada de aumento del nivel del mar, detectada durante el siglo XX (PNUMA, 2004).

El nivel de las aguas oceánicas puede elevarse, en muchos casos de forma natural (efectos geológicos, vientos, corrientes marinas), y en otros, de manera inducida por el aumento de temperatura que provoca la expansión térmica de los mares, la fusión de los glaciares y placas de hielos y los cambios en el almacenamiento de agua en la tierra (Walsh *et al.*, 2004).

Los impactos que se pueden generar por la elevación del nivel del mar son: la inundación y erosión de costas bajas, el incremento de la salinidad en acuíferos, la alteración de los patrones de deposición de sedimentos, la disminución de la transparencia del agua, la regresión de la línea de costa y una mayor penetración del oleaje, entre otros (Walsh *et al.*, 2004). Comúnmente, los impactos provocados por el incremento del nivel del mar, se evalúan a través de la vulnerabilidad a la inundación y erosión, con sus posibles consecuencias para el desarrollo de la actividad humana establecida en la zona costera afectada (Diez, 2000).

Es posible implantar estrategias de respuestas para prevenir, mitigar o adaptarse a los diferentes impactos del ascenso del nivel del mar, entre

ellas están la protección costera, el levantamiento de la infraestructura, el mantenimiento de zonas turísticas, la protección de áreas importantes, entre otras; sin embargo, sus costos de implementación son significativos.

Se entiende por adaptación, el grado en que son posibles ajustes en las prácticas, procesos o estructuras de los sistemas, en respuesta a los cambios de clima actuales o a los proyectados. La adaptación puede ser espontánea o planificada, y presentarse en respuesta a los cambios en las condiciones presentes o de forma anticipada (Klein *et al.*, 2001). En este sentido, la *capacidad de adaptación* sería la habilidad de un sistema para ajustarse al cambio climático, moderar daños posibles, aprovechar oportunidades o enfrentar las consecuencias.

Es necesario destacar que, si se asume que no hay respuesta humana ante el fenómeno del ascenso del nivel del mar, asentamientos humanos y actividades industriales, agrícolas y recreacionales ubicadas en costas abiertas estarían en riesgo por la erosión y la inundación, con serias implicaciones ecológicas, sociales y económicas. Situación que aunada a la actual tendencia al deterioro de la calidad ambiental en las zonas costeras, reducirá la capacidad de responder a los cambios y poder compensarlos.

Desde el campo de la ingeniería se ha desarrollado una variedad de técnicas para prevenir el avance de los fenómenos erosivos, entre ellas están, las estructurales, que comprenden las obras usadas para delimitar la línea de costa, y los métodos no estructurales, que se orientan a la prevención (Barragán, 2007).

Destacan entre los primeros la construcción de estructuras de fortalecimiento de la línea costera, que tienen el efecto de aumentar la resistencia y defensa de la tierra contra la erosión, como los muros de contención, diques, rompeolas, espigones y malecones, entre otros. Entre los métodos no estructurales, se cuenta el control por vegetación, que es una de las pocas técnicas capaces de controlar o retardar la erosión, y permite la

estabilización de dunas y pendientes, favoreciendo el desarrollo de marismas salobres que absorben la energía del oleaje (Barragán, 2004).

Las medidas pueden diseñarse a partir de una gran variedad de soluciones estructurales rígidas y flexibles (Klein *et al.*, 2001; Walsh *et al.*, 2004; Castro y Morales, 2006):

- Los diques, malecones, revestimientos y muros de contención son estructuras que se construyen para la canalización o para la protección frente a las inundaciones, o los efectos directos del oleaje y mareas.
- Los espigones son estructuras dispuestas perpendicularmente a la línea de costa, generalmente se extienden desde tierra firme hasta la orilla y retienen los sedimentos que avanzan a lo largo de la costa con el fin de ensanchar la playa o prevenir su erosión.
- Los rompeolas son estructuras firmes situadas hacia fuera de la costa, generalmente en paralelo a la línea de costa, con el fin de disipar la energía de las olas, para reducir la erosión así como los daños producidos por las tormentas.
- El levantamiento de la infraestructura costera a niveles mayores del agua es otra técnica aplicada, así algunos diques, revestimientos, malecones, puentes, entre otros, pueden elevarse para enfrentar el aumento del nivel del mar o la incidencia de temporales.
- Entre las opciones de estructuras flexibles se encuentra el relleno, mantenimiento o alimentación artificial de playas, que comprende la distribución de material arenoso a lo largo de la costa para establecer y, posteriormente mantener una anchura de playa y una posición de la línea de costa adecuada para disipar la energía de las olas y reforzar las playas, particularmente con fines recreativos y estéticos.

En los últimos años, el número, volumen y longitud promedio de las playas mantenidas con esta técnica se ha incrementado, aunque

esta estrategia es costosa y depende del aporte de arena disponible (Trembanis y Pilkoy, 1998; Zhang *et al.*, (2004), Makowski y Rusenko (2007). En la línea de costa del golfo de México, desde Corpus Cristi, Texas hasta isla Maco, Florida, se han registrado 158 episodios de alimentación en 60 playas totalizando más de 78.000.000 yardas cúbicas de arena colocadas a lo largo de la costa (Trembanis y Pilkoy, *op. cit.*). Valverde y colaboradores (1999) concluyeron que el uso de la alimentación para combatir la erosión costera ha aumentado desde 1960. Makowski y Rusenko (2007) han señalado que desde 1960 las playas erosionadas al sureste de Florida han sido mantenidas usando una variedad de fuentes de arena. Se ha utilizado vidrio reciclado como alternativa viable como material de relleno para las costas críticamente erosionadas, ya que tiene propiedades físicas similares a las arenas naturales de sílice.

La selección de las medidas adaptativas en respuesta a la elevación del nivel del mar, dependerá de las características físicas, sociales, económicas, ambientales y hasta políticas de las áreas en riesgo. Se recomiendan varias combinaciones de estrategias; desde no ejercer acción alguna, con el consiguiente abandono de la costa o retiro no planificado y las protecciones de acuerdo con el nivel de desarrollo costero existente. Para reducir la vulnerabilidad costera ante el incremento del mar, se han planteado tres categorías de estrategias (IPCC, 1992; Nicholls *et al.*, 1995):

Retirada

No involucra ningún esfuerzo para proteger la tierra del avance del mar, ya que la zona costera se abandona. En zonas urbanas la retirada o abandono no es una opción viable si el costo de la infraestructura es alto, una excepción son las regiones urbanas con pocas edificaciones.

Acomodación

Implica que la población sigue usando la tierra en riesgo, sin intentos de prevenir que la tierra se inunde. Esta opción considera el levantamiento de

refugios de emergencia contra la inundación, elevar construcciones sobre pilotes, convertir tierras agrícolas en granjas piscícolas o cambiar los cultivos tradicionales por aquellos que sean tolerantes a la salinidad.

Protección

Esta estrategia comprende medidas defensivas y otras actividades encaminadas a proteger las áreas de la inundación por mareas, de los efectos de las olas sobre la infraestructura, la erosión de la costa, la salinización y pérdida de recursos naturales.

Algunos países han evaluado las opciones de respuestas posibles:

En Argentina, Dennis y colaboradores (1995) señalan que sólo 2% de la línea de costa presenta un desarrollo de medio a alto, por lo que proteger estas áreas costeras de 1 metro de incremento de nivel del mar, costaría alrededor de 0,6 a 1,3 billones \$US; los costos más altos se refieren al levantamiento de puertos y la recuperación de playas.

Volonté y Nicholls (1995) consideran que la alimentación de playas es la opción de respuesta más apropiada para playas turísticas en Uruguay; para un incremento de 1 metro esta opción podría costar unos 3.000 millones \$US, protegiendo sólo 151 km (22% del total de la costa).

La erosión de playas en la región metropolitana de Río de Janeiro, Brasil, podría impactar a la actividad turística, porque playas como Copacabana y Leblón se están erosionando lentamente y ya han requerido gastos adicionales para su mantenimiento (Muehe y Neves, 1995). En este caso, los problemas de erosión de playas no se pueden atribuir al aumento del nivel del mar, sino al inadecuado manejo costero y a la urbanización sin control. Además, otro problema identificado en Brasil es la inundación costera asociada con una fuerte escorrentía que podría actuar sinérgicamente con los impactos del aumento del nivel del mar.

Es interesante mencionar que China tiene cuatro grandes planicies deltaicas que se han desarrollado de la subsidencia tectónica de la roca madre, por la deposición de grandes cargas de sedimentos transportados por los ríos al mar. Todas las planicies costeras originadas de esta forma son bajas, están muy cerca de la línea de agua o en algunos casos bajo de ella, de manera que éste país comenzó la construcción de diques hace 1.000 años. Estas protecciones han aumentado progresivamente hasta la época actual, y como resultado toda la costa baja de China está protegida en diferentes grados (Leatherman y Nicholls, 1995). Las pérdidas frente al incremento del nivel del mar serían muy significativas y se requerirán medidas de reconstrucción y levantamiento para prevenir el colapso de los diques.

Malasia ya ha adoptado una combinación de medidas prácticas, estructurales y no estructurales, con la finalidad de minimizar las pérdidas por inundación, que se encuentran en diferentes estados de implementación. Entre ellas se pueden señalar: el establecimiento y levantamiento de redes hidrológicas para coleccionar datos y como parte integral del sistema de alerta para inundaciones, estudios de las cuencas hidrológicas, implementación de proyectos específicos de mitigación de inundaciones, regulaciones del uso de tierra y reubicación de los pobladores de zonas con problemas de inundación, control de desarrollos y formulación de planes contra desastres (Leatherman y Nicholls, 1995; Midun y Lee, 1995).

En Senegal, la protección de las áreas con desarrollo medio y alto costaría 255 a 845 millones \$US, principalmente la dirigida al mantenimiento de playas turísticas (Niang y colaboradores, 1992; Dennis *et al.*, 1995).

Desde otro punto de vista, se ha establecido que a medida que el nivel del mar se eleva, las playas sin alteración antrópica, se adaptan rápidamente a los procesos erosivos mediante el retroceso de la línea de costa y el ajuste de la playa hacia una nueva posición de equilibrio. Sin embargo, en sectores de intensa ocupación de la costa, esta posición de equilibrio no se alcanza debido a la presencia de estructuras de protección que alteran los procesos naturales, y son el principal factor de erosión a escala local (Zhang *et al.*, 2004).

Barragán (2004), ha acotado que las playas modificadas por estructuras costeras, tales como malecones, espigones, rompeolas o muros de contención, no se mantienen estables debido a que se alteran las condiciones del oleaje o la disponibilidad de sedimentos. En una playa natural, sin obstáculos, la ola disipa toda su energía al romperse y se desliza sobre la arena hasta alcanzar su parte más alta; posteriormente, la fuerza de la gravedad se encarga de devolver el agua al mar.

Sin embargo, es de señalar que el espigón al formar una playa de un lado, del otro produce erosión debido a la escasez de sedimentos. Estas estructuras constituyen la principal causa de la erosión de playas en ciudades costeras como Lima y Trujillo, Perú (Leceta y Tavares Corrêa, 2007). El balneario Las Delicias, localizado al sur de Trujillo, ha sufrido la erosión de playa más grande reportada en el litoral peruano, debido a la instalación del terminal marítimo de Salaverry y la construcción de una serie de espigones y rompeolas que han generado un retroceso de 160 m. con pérdidas de viviendas en playas turísticas (León y Tavares Corrêa, 2004).

Arismendi y Volonté (1992) al utilizar la técnica del análisis de vulnerabilidad asistida por filmación aérea para la línea costera venezolana, estimaron que los costos para la estrategia de protección de áreas importantes (rompeolas, levantamiento de puertos, alimentación-arena y espigones) para el ascenso de 1 m del nivel del mar estaban entre 999,1 a 1.516,5 millones de dólares americanos para 1991. Mientras que para la estrategia de protección total (rompeolas adicionales) estimaron un costo entre 718,1 a 1.117,2 millones de dólares americanos para 1991.

Fernández (2007) concluye que lo más aconsejable es organizar con tiempo una gradual y progresiva retirada de la costa hacia el interior, con la puesta en marcha de políticas de relocalización de los pobladores afectados, para que la retirada se haga de una manera ordenada y dirigiendo las nuevas inversiones a lugares con menor riesgo. En la tabla 1 se presentan resumidamente las diferentes opciones de adaptación costera.

Tabla 1. Opciones y tecnologías para la adaptación costera

Aplicación	Tecnología
Protección	
Opciones estructurales duras	Diques, espigones, rompeolas, revestimientos, barreras
Opciones estructurales suaves	Barrera contra la intrusión agua marina Alimentación periódica de playas Restauración y creación de dunas
Opciones tradicionales	Creación y restauración de humedales Barreras y unidades de fibras y hojas de coco Barreras de piedras, maderas Forestación
Retiro (Manejado)	
Aumento o establecimiento de zonas amortiguación	Se requiere tecnología específica
Relocalización de edificios amenazados	Varias tecnologías
No desarrollo en áreas susceptibles	Control con normas legales
Facilidades de movilización	Se requiere tecnología específica
Relocalización manejada	Varias tecnologías dependiendo de la localización.
Creación de zonas de amortiguación	Se requieren estudios técnicos
Acomodación	
Planificación de emergencias	Sistemas de alerta temprana Sistemas de evacuación
Indemnización por daños	Se requiere tecnología específica
Modificación del uso de la tierra y prácticas agrícolas	Acuicultura, cultivos resistentes a la salinidad, etc.
Cambio en el estilo de construcción y requisitos	Se requiere tecnología accesible
Regulación estricta de zonas amenazadas	Normativa legal
Mejoramiento de drenajes	Aumento del diámetro de tuberías Incremento capacidad de bombeo
Desalinización	Plantas desalinizadoras

Fuente: Klein *et al.*, (2001) modificado por los autores.

Está claro que aunque estas medidas se implementarían para cada caso particular, las presiones ejercidas por el incremento de la población, las demandas de los usuarios de las áreas costeras y el costo inherente a ellas, facilitarían más bien la aplicación de programas integrales y sistemáticos de gestión costera.

Varios países de América tales como Brasil, Puerto Rico, Costa Rica, Argentina, Colombia y Uruguay, entre otros, han desarrollado medidas planificadas de adaptación en respuesta a la situación de deterioro de sus costas, dirigiendo sus medidas al manejo integrado de las costas (Barragán, 2001, 2004; IPCC 2007).

Se entiende por Gestión Integrada de Zonas Costeras (GIZC) un proceso dinámico y continuo, en el cual las decisiones tienen el objetivo de lograr el uso sostenible y el desarrollo y protección de las áreas marinas y costeras y sus recursos (INEA, 2003; Van Koningsveld y Mulder, 2004).

El manejo de los sistemas costeros es complejo y por lo tanto requiere una gestión integrada capaz de considerar racionalmente los intereses de los diversos actores que tienen competencia en ellos. La zona costera debe conceptualizarse como un sistema único de recursos que requiere aproximaciones especiales de manejo y planificación, de forma que los usos de la tierra y el mar se manejen y planifiquen combinadamente, destacando el interés ecológico de la franja costera por la fragilidad de los ecosistemas que la componen, por el carácter de bien de uso público y la importancia económica que posee como bien escaso (Barragán, 1994, 2003, 2007; Marchán, 2006).

El objetivo principal de la presente investigación se refiere a la evaluación de la vulnerabilidad socioambiental al incremento potencial del nivel del mar, con énfasis en los impactos físicos, principalmente la pérdida de tierra generada en el área comprendida desde cabo Codera hasta el extremo más oriental de la laguna de Tacarigua en el estado Miranda. En este artículo, se presentan los resultados obtenidos en el Paso 5 de la metodología aplicada, referidos a la “formulación de estrategias de respuestas y evaluación de costos”.

METODOLOGÍA

En el presente estudio se aplicó la *Metodología común: siete pasos para evaluar la vulnerabilidad de áreas costeras* (IPCC, 1992), utilizada por Olivo *et al.*, (1996), Olivo (1999), Olivo *et al.*, (2001), Klein *et al.*, (2001), McFadden *et al.*, (2007), Olivo (2009), Olivo *et al.*, (2010 a), Olivo *et al.*, (2010 b) y Olivo *et al.*, 2011). Las etapas metodológicas se desarrollan a través los siguientes pasos:

- Paso 1. Delimitación del área de estudio
- Paso 2. Características del sistema biológico, físico y socioeconómico
- Paso 3. Identificación de los factores de desarrollo
- Paso 4. Evaluación de los cambios físicos
- **Paso 5. Formulación de estrategias de respuestas y evaluación de costos**
- Paso 6. Evaluación de la vulnerabilidad
- Paso 7. Identificación de necesidades y acciones.

Los resultados de los cuatro pasos previos de esta metodología se presentan en detalle en Olivo *et al.*, 2011; Olivo *et al.*, 2010a y Olivo *et al.*, 2010b. Esta metodología brinda un marco útil para países costeros, ya que permite evaluar la vulnerabilidad al incremento del nivel del mar y promueve el establecimiento de un enfoque sistemático integral para el manejo de las zonas costeras.

Se seleccionó como área a estudiar la comprendida entre cabo Codera y la laguna de Tacarigua, estado Miranda (figura 1), entre las coordenadas 820000 E y 1160000 N, la cual cubre una superficie de 37,9 km² con 78,50 km de costas en el mar Caribe.

La razón que motivó esta selección, fue la presencia de un humedal costero de gran importancia ecológica como lo es la laguna de Tacarigua, que posee una gran diversidad biológica y está protegida por la figura administrativa de parque nacional (Gaceta Oficial de la República de Venezuela, 1974). Se ha determinado que este ecosistema está sometido a una presión creciente de desarrollo turístico-recreacional en el área de amortiguación del parque nacional laguna de Tacarigua (Olivo, 1992; Olivo *et al.*, 2010c), a pesar de coexistir con otra figura administrativa como es la zona de aprovechamiento agrícola en jurisdicción de los distritos Acevedo, Brión y Páez del estado Miranda (Gaceta Oficial de la República de Venezuela, 1982).

ESTRATEGIAS DE RESPUESTAS

Se evaluaron tres respuestas al incremento del nivel del mar (IPCC, 2007, 2008; Klein *et al.*, 2001):

- **No protección**

Se asume que no hay protección costera y no se toma en cuenta la existente, si hay alguna presente. Por consiguiente la pérdida de tierra y su valor capital alcanza al máximo, pero el costo de protección es cero.

- **Protección existente**

Esta medida considera que las áreas protegidas permanecerán de esta manera y serán levantadas así como el nivel del mar aumente. Se investigó el tipo y longitud de protección costera presente actualmente en el área de estudio: rompeolas, espigones y diques, presentándose un estimado del costo de construcción.

Lettherny (1996) y García (2010) realizaron el estimado de los costos sobre la base de datos suministrados por expertos del Instituto de Canalizaciones y del Ministerio del Poder Popular para la Infraestructura (Dirección de Puertos); estudiaron numerosos proyectos con la finalidad de llegar a proponer un estimado de los costos promedios de construcción.

- **Protección de áreas importantes**

Este tipo de medida plantea la protección de áreas turísticas mediante la estrategia de la alimentación o mantenimiento artificial. Se seleccionó un área con interés turístico con la finalidad de ser alimentada artificialmente y lograr su mantenimiento, se utilizó la propuesta del IPCC (1996) de $0,5 \times 10^6 \text{ m}^3$ de arena para mantener un kilómetro de playa para un ascenso de 0,5 metros del nivel del mar e igualmente, el coeficiente de 5 US\$/ m^3 de arena. Letthernery (1996) y García (2010) calcularon la cantidad de arena necesaria para el llenado artificial de la playa, estimando en 0,50 metros el volumen de una capa de arena de grosor igual al escenario de nivel del mar seleccionado (la amplitud abarca hasta la primera duna o contorno de la profundidad de cierre).

- **Protección total**

Además de la protección de las áreas importantes, se considera que las áreas costeras con densidad de población mayor de 10 hab. / km^2 serán protegidas. En vista que toda el área de estudio tiene una población que excede esta densidad, por consiguiente esta medida de protección se refiere a la longitud restante del sector.

Así, tenemos que, al costo de protección de áreas importantes se adicionaría el costo de proteger con diques el resto de la costa que no lo está. En esta respuesta de adaptación se hizo uso de los costos de referencia de Volonté y Arismendi (1995) para la construcción de diques situados en ambientes de alta exposición al oleaje (0,5 millones de dólares por metro lineal) y para diques en costas altas (0,7 a 1,4 millones de dólares por metro lineal).

Es de resaltar que en Olivo *et al.*, (2010a), Olivo *et al.*, (2010b) y Olivo *et al.*, (2011) se presentan los resultados obtenidos en las etapas metodológicas previas (Pasos 1, 2, 3 y 4), y en este artículo se incluyen los datos más resaltantes del Paso 5, referido a la formulación de estrategias de respuestas y evaluación de sus costos. A continuación se desarrolla la metodología aplicada en esta quinta etapa, adaptada por Olivo *et al.*, (1996), Olivo (1999) Olivo *et al.*, (2001) y Olivo (2009) para diferentes situaciones.

RESULTADOS

Formulación de estrategias de respuestas y evaluación de sus costos

Se analizaron varias estrategias de respuestas posibles para prevenir, mitigar y adaptarse a los diferentes impactos del ascenso del nivel del mar tales como la protección costera, el levantamiento de la infraestructura, el mantenimiento de zonas turísticas y la protección de áreas importantes, entre otras.

García (2010) actualizó los costos de algunas estrategias de protección ya evaluadas previamente por Olivo *et al.*, (1996) y Lettherny (1996):

- **No protección**

Esta estrategia de respuesta asume que no hay protección costera presente, es decir, no se toma en cuenta la existente. Por consiguiente la pérdida de tierra y su valor alcanzan el máximo (es decir, que toda la superficie estudiada 37,90 km² se perdería), pero el costo de protección sería cero.

- **Protección existente**

La medida de protección existente asume que las áreas protegidas permanecerán de esta manera y serán levantadas en una altura determinada por el escenario de ascenso establecido de nivel del mar, en este caso 0,5 metros (IPCC, 1992; Klein *et al.*, 2001).

En la tabla 2 se presenta el tipo y longitud de cada infraestructura de protección costera presente en el área de estudio, rompeolas, espigones y diques, (Lettherny, 1996; García, 2010). Esta última investigadora ajustó los costos realizados por la primera, obteniendo un valor total estimado de la infraestructura costera en Cabo Codera- Laguna de Tacarigua de **135,10x10⁶ Bs.** para el año 2010.

Adicionalmente, se muestra la estimación del costo del levantamiento de la infraestructura costera existente, rompeolas, espigones, diques, e

incluyendo los diez puertos existentes en el sector de estudio (Lettherny, 1996; García, 2010), resultando un monto aproximado de **12.839,80x10⁶ Bs.** para el año 2010 (tabla 2).

Tabla 2. Longitud y costo estimado de infraestructura costera existente y por levantamiento en Cabo Codera-Laguna de Tacarigua, estado Miranda

Rompeolas	Espigones	Diques	Costo total infraestructura	Costo total Levantamiento
(m)			(10 ⁶ Bs.)	(10 ⁶ Bs.)
180	240	200	135,10	12.839,80

Fuente: García (2010) basado en Lettherny (1996).

- **Protección de áreas importantes**

Para analizar esta medida de adaptación, se hizo la selección de un área con atractivo turístico recreacional con el objeto de ser mantenida o alimentada y así preservar sus condiciones naturales. De esta forma, se concluyó que 7,5 km en las inmediaciones de la costa del centro poblado de Higueroate requerirán ser mantenidos artificialmente (tabla 3). Es de señalar que Volonté y Arismendi (1995) también concluyen que Higueroate, además de Chirimena y Tacarigua deben ser mantenidas artificialmente.

Tabla 3. Localidades propuestas para alimentación de playas en Cabo Codera-Laguna de Tacarigua, estado Miranda

Localidad	Longitud costera (km)	Costo mantenimiento (10 ⁶ Bs.)
Higueroate	7,5	53,2

Fuente: García (2010) basado en Lettherny (1996).

Esta estrategia de respuesta incluye los costos de protección para levantamiento y alimentación, y representa un total aproximado de 12.893 millones de bolívares (tabla 3).

- **Protección total**

Con esta estrategia (tabla 4), al costo de *protección de áreas importantes* se adicionaría el costo de proteger con diques el resto de la costa que no cuenta con protección (Lettherny 1996, García, 2010).

Los resultados obtenidos al evaluar las opciones de respuesta (levantamiento de la infraestructura costera, protección de áreas importantes, alimentación o mantenimiento artificial de playas y protección total de la costa) reflejan que los costos de implementación de cualquiera de estas medidas de adaptación son elevados.

Tabla 4. Costos de protección en Cabo Codera-Laguna de Tacarigua, estado Miranda

A	B	C
Costo de alimentación de playas	Costo de levantamiento	Costo de diques adicionales
(10 ⁶ Bs.)		
53,20	12.839,80	9,25

Fuente: García (2010) basado en Lettherny (1996).

Costo de *protección áreas importantes* = A + B = 12.893,20x10⁶ Bs.

Costo de *protección total* = A+ B+ C = 12.902,30x10⁶ Bs.

De esta manera se cumple con el objetivo del estudio relacionado con la formulación de algunas estrategias de respuestas posibles ante el potencial incremento del mar y calcular sus costos de manera preliminar en la zona de estudio.

CONCLUSIONES

- Se evaluaron algunas respuestas de adaptación al incremento del nivel del mar, con la finalidad de explorar las posibles acciones a seguir para mitigar los efectos del ascenso del nivel del mar: levantamiento de la infraestructura, protección de áreas importantes y protección total, obteniéndose valores significativos en todos los casos; se concluye que la implementación de cualquiera de las medidas de protección señaladas representa un costo muy alto para la nación.
- Con la estrategia de respuesta “no protección” se asume que no hay protección costera presente y no se considera la existente; por consiguiente la pérdida de tierra y su valor alcanza el máximo, en este caso toda la superficie estudiada (37,90 km²) se perdería.
- La medida de “protección existente” considera que las áreas protegidas permanecerán de esta manera y serán levantadas en una altura determinada por el ascenso establecido del nivel del mar, en este caso 0,5 metros. Se identificó el tipo y longitud de cada infraestructura de protección costera presente en el área de estudio: rompeolas, espigones y diques, estimándose su valor total aproximadamente en **135,10x10⁶ Bs.** para el año 2010.
- Seguidamente se estimó el costo del levantamiento (en 0,5 metros) de la infraestructura costera existente, rompeolas, espigones, diques, incluyendo los diez puertos existentes en el sector de estudio, a fin de proteger efectivamente cada espacio, resultando un monto aproximado de **12.839,80x10⁶ Bs.** para el año 2010.
- La medida de adaptación de “protección de áreas importantes”, considera la sumatoria de los costos de mantenimiento o alimentación de playas (53,2x10⁶ Bs.) más el de levantamiento (12.839,80x10⁶ Bs.), obteniéndose un total aproximado de **12.893 x10⁶ Bs.**

- Con la estrategia de “protección total”, al costo de “protección de áreas importantes”, se adiciona el costo de proteger con diques el resto de la costa que no lo está, resultando un valor de **12.902,30x10⁶ Bs.**
- Los costos de protección estimados para las opciones evaluadas son muy significativos (12.893x10⁶ Bs.), de manera, que es más adecuado y viable, para enfrentar la erosión y la inundación potencial generada por el incremento del nivel del mar antropogénico en el área de estudio, la implementación de un efectivo *Manejo Integrado de Áreas Costeras*,
- La ordenación integrada de la franja costera debe considerar la fragilidad de los ecosistemas que lo componen, el carácter de bien de uso público y la importancia económica que representa.
- El ordenamiento territorial urbano, con sus instrumentos de planificación, constituye una vía adecuada para la implementación de soluciones en el corto, mediano y largo plazo, que contribuyan con el uso racional de los hábitat costeros y recursos marinos, y también sería una estrategia para enfrentar paulatinamente los efectos del cambio global.

BIBLIOGRAFÍA

- Arismendi, J. y C. Volonté (1992). The impacts of sea level rise on the coastline of Venezuela. In: Changing climate and the coast. (ed.) Titus, J. Washington, D. C. Environmental Protection Agency. (2):385-397.
- Barragán, J. (1994). Ordenación, planificación y gestión del espacio en áreas litoral. Barcelona. *Oikos-Tau*.10 p.
- Barragán, J. (2001). The brazilian matinal plan of coastal management. *Coastal Management* (3)29.
- Barragán, J. (2003). Medio ambiente y desarrollo en áreas litorales. Introducción a la planificación y gestión integrada. Cádiz: servicio de publicaciones de la Universidad de Cádiz. 56 p.
- Barragán, J. (2004). Las áreas litorales de España. Del análisis geográfico a la gestión integrada. Barcelona. Ariel, 214 p.

- Barragán, J. (2007). XVI Ciclo del jueves: Dedócratas: ¿sabéis qué está pasando en las costas de Andalucía? Estrategia de gestión integrada de áreas litorales Junta de Andalucía. Consejería de Medio Ambiente. [Documento en Línea]. 23-11-2007. Disponible [http:// www.pdedocratas.com / actividades /jueves_dedocratas /Barragán/juanmanuel_%20Barragan.htm](http://www.pdedocratas.com/actividades/jueves_dedocratas/Barragán/juanmanuel_%20Barragan.htm). Consultado 02-07-2008.
- Castro C. y E. Morales (2006). La zona costera. Medio natural y ordenación integrada. [Documento en Línea]. 06-12-2006. Santiago, Instituto de Geografía (PUC) - Serie GEOLibros, 2006. 210 p. Disponible [http://redalyc.uaemex.mx /redalyc/pdf/300/30003507.pdf](http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/300/30003507.pdf). Consultado 03-09-2008.
- Church J., Gregory J., Huybrechts P., Kuhn M., Lambeck K., *et al.* (2001). Changes in sea level rise. In: Climate change 2001. The scientific basis. (eds.) J. Houghton, Y. Ding, D. Griggs, M. Noguer, J. Van Der Linden *et al.* Cambridge and New York. Cambridge University press, p. 639-694.
- Dennis K., Schnack E. y F. Mouzo (1995). Sea level rise and Argentina: potential impacts and consequences. *Journal of Coastal Research* SI 14: 205-223.
- Diez, J. (2000). A review of some concepts involved in the sea-level rise problem. *Journal of Coastal Research* 16(4):1179-1184.
- Fernández, J. (2007). Varias costas españolas retrocederán hasta 70 metros en el año 2050. [Documento en línea]. 08-03-2007. Director general de costas. portalmedioambiente. Disponible [http://www.portaldelmedioambiente.com/ html /gestor_noticias/vernoticia.asp?id=6786](http://www.portaldelmedioambiente.com/html/gestor_noticias/vernoticia.asp?id=6786). Consultado 11-03-07.
- Gaceta Oficial de la República de Venezuela (1974). Parque Nacional Laguna de Tacarigua. G. O. N° 30.330 del 14-02-1974.
- Gaceta Oficial de la República de Venezuela (1982) Zona de Aprovechamiento Agrícola. G.O. N° 32.466 del 04-05-82.
- García, C. (2010). Cálculos de valor capital y costos de infraestructura costera. Mimeografiado. Caracas. 5 p.
- Houghton, J.; Ding, Y.; Griggs, D.; Noguer, M.; Van der Linden, P., *et al.* (2001). Climate change 2001: The scientific basis, Cambridge University Press. p 944.

- INEA-Instituto Nacional de Espacios Acuáticos (2003). Gestión integrada de costas en Venezuela. Mimeografiado. Caracas. 13 p.
- IPCC-Intergovernmental Panel on Climate Change (1992). Cambio climático, estrategias de respuestas del IPCC. Grupo intergubernamental de expertos sobre cambio climático. Informe Preparado por el Grupo de Trabajo II. Versión española a cargo del Instituto Nacional de Meteorología. OMM-PNUMA Madrid. 256 p.
- IPCC-Intergovernmental Panel on Climate Change (1996). Climate change 1995. Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-technical analyses. Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva. Switzerland. 57 p.
- IPCC-Intergovernmental Panel on Climate Change (2007). Working group II Contribution to the intergovernmental panel on climate change. Fourth assessment report climate change 2007: Climate change impacts, adaptation and vulnerability. Summary for policymakers [Document on line]. 06-04-2007. Available <http://www.ipcc.ch/>. Consulted 11-04-2007.
- IPCC-Intergovernmental Panel on Climate Change (2008). Cambio climático: informe de síntesis 2007. Contribución de los grupos de trabajo I, II y III al cuarto informe de evaluación del grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático. Resumen para responsables de políticas. Core Writing Team, Pachauri, R.K, y Reisinger, A. OMM-PNUMA. Suecia, p. 115.
- Klein, R.; Nicholls, R.; Ragoonaden, S.; Capobianco, M.; Aston, J., *et al.* (2001). Technological options for adaptation to climate change in coastal zones. *Journal of Coastal Research* 17(3):531-543.
- Leatherman, S. y R. Nicholls (1995). Accelerated sea- level rise and developing countries. In: an international forum for the littoral sciences. Potential impacts of accelerated sea- level rise on developing countries. (eds.) R. Nicholls and S. Leatherman. Published by the coastal education and research Foundation. *Journal of Coastal Research* SI (14): 1-14.
- Leceta, F. y C. Tavares Corrêa (2007). Variación de la línea de litoral en la costa Verde, Lima, Perú. Pontificia Universidad Católica del Perú (en prensa).

- Leon, J. y C. Tavares Corrêa (2004). Quantification in shoreline change in Salaverry, Peru. *Journal of Coastal Research* SI 39, ICS 2004 (Proceedings).
- Lettherny, E. (1996). Estimaciones de pérdidas de tierra y cálculos de medidas de adaptación en la línea de costa venezolana. MARNR-MEM. Mimeografiado. Caracas. 10 p.
- Magrin, G.; Gay, D.; Cruz, J.; Giménez, A.; Moreno, G.; *et al.* (2007). Latin America. Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of working group II to the fourth assessment reports of the Intergovernmental Panel on Climate Change. (eds.) M. Parry, O. Canzini, J. Palutikof and C. Hanson. Cambridge University press, Cambridge, UK, 581-615.
- McFadden, L.; Nicholls, R.; Vafeidis, A.; y R. Tol (2007). A methodology for modeling coastal space for global assessment. *Journal of Coastal Research* 23 (4):911-920.
- Makowski, C. y K. Rusenko (2007). Recycled glass cullet as an alternative beach fill material: results of biological and chemical analyses. *Journal of Coastal Research* 23(3):54-552.
- Marchán, C. (2006). Reseña: La zona costera. Medio natural y ordenación integrada [Documento en línea]. Pontificia Universidad Católica de Chile. Revista de Geografía Norte Grande. Universidad Autónoma del Estado de México. (35):97-101. Disponible http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34022006000100007. Consultado 08-08-2008.
- Midun, Z. y S. Lee (1995). Implications of a greenhouse induced sea level rise: a national assessment for Malaysia. *Journal of Coastal Research* SI (14): 96-115.
- Muehe, D. y C. Neves (1995). The implications of sea level rise on the brazilian coast: a preliminary assessment. *Journal of Coastal Research* SI (14): 54-78.
- Niang, I.; Dennis, K. y J. Nicholls (1992). The impacts of sea level rise on the coast line of Senegal. Proceedings of international workshop global climate change and the rising challenge of the sea held on Margarita island, Venezuela. NOAA/EPA/IPCC. March 9-13, 1992.
- Nicholls, R.; Leatherman, S.; Dennis, K. y C. Volonté (1995). Impacts and responses to sea-level rise: qualitative and quantitative assessments. *Journal of Coastal Research* SI (14): 26-43.

- Olivo, M. L. (1992). Conflictos de uso en áreas bajo régimen de administración especial: una metodología de conciliación. Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas. Universidad Simón Bolívar. 231 p.
- Olivo M. L.; Letthernery, E.; Platt, C. y M. Sosa (1996). Vulnerabilidad al incremento del nivel del mar originado por el cambio climático global, Venezuela. Caso-estudio Venezuela sobre cambios climáticos. Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales Renovables - Ministerio de Energía y Minas – U.S. Country Studies Program. Caracas. 42 p.
- Olivo, M. L.; Letthernery, E.; Platt, C. y M. Sosa (2001). Pérdidas de tierra en la costa venezolana debido al incremento del nivel de mar. *Ecología tropical para el siglo XXI: biodiversidad, cambio global y restauración de ecosistemas. Interciencia* 26(10): 463 - 468.
- Olivo, M. L. (2009). El potencial incremento del nivel del mar como un resultado del cambio climático global en Venezuela: caso Cabo Codera-Laguna de Tacarigua, estado Miranda. Tesis Doctoral. *Mención Honorífica*. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Humanidades y Educación. 300 pp.
- Olivo, M. L.; Martín, A.; Sáez, V., y A. Soto (2010a). Vulnerabilidad al incremento del nivel del mar. Medio socioeconómico: área Cabo Codera-Laguna de Tacarigua, estado Miranda, Venezuela. *Terra XXVI* (39):59-75.
- Olivo, M. L.; Sáez-Sáez, V.; Martín, A., y A. Soto (2010b). Vulnerabilidad al incremento del nivel del mar. Usos de la tierra y valor capital en el área Cabo Codera-Laguna de Tacarigua, estado Miranda, Venezuela. *Terra XXVI* (39): 99-120.
- Olivo, M. L.; Sebastiani, M. y A. Soto-Olivo (2010c). Lineamientos de manejo ambiental para compatibilizar el uso de la tierra en el Parque Nacional Laguna de Tacarigua- área de amortiguamiento, con la preservación del ecosistema lagunar. Simposio Humedal Laguna de Tacarigua. 12 Mayo 2010. Instituto de Zoología y Ecología Tropical. Ponencia.
- Olivo-Garrido, M. L.; Martín-Zazo, A.; Sáez-Sáez, V.; y A. Soto-Olivo (2011). Vulnerabilidad al incremento del nivel del mar. Pérdidas de tierra en el área Cabo Codera-Laguna de Tacarigua, estado Miranda, Venezuela. *Terra XXVII* (41):125-145.

- PNUMA-Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente- (2004). La NASA confirma el aumento del nivel del mar por el calentamiento. [Documento en línea]. 07-06-2004. Oficina Regional para América Latina y el Caribe. Unidad de Comunicación e Información Pública. Disponible <http://www.rolac.unep.mx>. Consultado 06-07-2004.
- Trembanis A. y O. Pilkoy (1998). Summary of beach nourishment along U. S. gulf of Mexico shoreline. *Journal of Coastal Research* 14(2):407-417.
- Valverde H., Trembanis A. y G. Pilkey (1999). Summary of beach nourishment episodes in the U.S east coast barrier island. *Journal of Coastal Research* 15(4):1100-1118.
- Van Koningsveld, M. y J. Mulder (2004). Sustainable coastal policy developments in the Netherlands. A systematic approach revealed. *Journal of Coastal Research* 20(2): 375-38.
- Volonté, C. y R. Nicholls (1995). Uruguay and sea level rise: potential impacts and responses. *Journal of Coastal Research* SI 14: 262- 284.
- Volonté, C. y J. Arismendi (1995). Sea level rise and Venezuela: potential impacts and responses. *Journal of Coastal Research* SI 14: 285-302.
- Walsh, K.; Betts, H.; Pittock, A.; Jackeu, D. y T. McDougall (2004). Using sea level rise projections for urban planning in Australia. *Journal of Coastal Research* 20 (2) 586-598.
- Zhang, K.; Douglas B. y S. Leatherman (2004). Global warming and coastal erosion. *Climate Change* 64:41-58.

María de Lourdes Olivo-Garrido. Licenciada en Biología, Mención Ecología, Universidad Simón Bolívar (1981). Master en Ciencias Biológicas- Universidad Simón Bolívar (1992). Doctora en Humanidades Área Geografía-Mención Honorífica. Universidad Central de Venezuela (2009). Profesora Asociado de la Facultad de Medicina de la Universidad Central de Venezuela. Inició su desarrollo profesional en el Ministerio del Ambiente, y luego se desempeñó en

diferentes organismos del sector público y privado como asesora y consultora ambiental. Correo electrónico: lourdesolivo@gmail.com.

Vidal Sáez-Sáez. Profesor Asociado. Doctor en Ciencias, UCV 2002. Especialista en Agrometeorología, Bélgica, 1990. Licenciado en Geografía, UCV, 1987. Director de los Estudios de Postgrado de la Facultad de Humanidades y Educación. Coordinador de la Maestría en Análisis Espacial y Gestión del Territorio FHE-UCV. Miembro del Comité Académico del Doctorado en Humanidades. UCV. Docente en pre y postgrado-UCV. Es Investigador PPI-II. Correo electrónico: vial2ss@cantv.net.

Alberto Martín-Zazo. Licenciado en Ciencias Biológicas, Universidad Simón Bolívar, 1985. Maestría en Administración Ambiental (IUPFAN, 1987) y Doctorado en Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Madrid (1997). Profesor Titular del Departamento de Estudios Ambientales de la Universidad Simón Bolívar. Los resultados de sus investigaciones se reflejan en 39 artículos en revistas arbitradas nacionales e internacionales, varios libros y capítulos de libros. Es Investigador PPI-III. Correo electrónico: amartinz@usb.ve.

Alejandra Soto-Olivo. Licenciada en Ciencias Biológicas, Universidad Simón Bolívar, 2006. Cursante de la Maestría Ambiente y Desarrollo, Universidad Simón Bolívar (2008). Consultora ambiental con experiencia en diferentes clases de estudios ambientales, especialmente estudios de impacto ambiental. Cuenta con artículos publicados en revistas científicas y participación en eventos nacionales e internacionales. Correo electrónico: alejandrasoto.olivo@gmail.com.