

VARIACIÓN EN EL NIVEL DEL MAR COMO CONSECUENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL: UNA EVALUACIÓN DE LA COSTA VENEZOLANA

JORGE A. NAVEDA S.*

Recibido: Octubre de 2010

Aceptado: Marzo de 2011

Resumen

Es muy importante que cada país del mundo pueda determinar el riesgo que enfrenta debido al cambio climático global. Ello permitiría tomar medidas para reducir la vulnerabilidad tanto de su población como de su infraestructura. Este trabajo evalúa el riesgo y vulnerabilidad de la costa venezolana frente al cambio del nivel del mar. El análisis permitió una evaluación territorial a través de variables como geomorfología, calidad de suelos, población tamaño de las ciudades e inversiones industriales y de turismo. Para tal fin, se usó los SIG Arc/View y Arc/Info con el método para estimar los mapas de índices multicriterios. Los resultados indican que las zonas urbanas costeras son las más importantes y tienen una elevada sensibilidad frente a un potencial evento de elevación del mar. Se han identificado nueve localidades con muy alta vulnerabilidad a lo largo de la costa venezolana: Maracaibo, Cabimas, la conurbación Tía Juana-Ciudad Ojeda-Lagunillas, Puerto Cabello, la conurbación Maiquetía-Catía La Mar, la conurbación Barcelona-Puerto La Cruz, Cumaná, Porlamar, and Maturín. Todas las localidades son planicies costeras con lagunas costeras o formas de deltas. Además, ellas tienen una gran inversión industrial y turística que generan mercados de aglomeración. En zonas amenazadas, estas condiciones producen muy alta vulnerabilidad como consecuencia de las potenciales pérdidas locales. En la costa venezolana, la elevación del nivel del mar cambia 2 mm/año, esto indica que 1 metro tardará 500 años. Finalmente, el peligro que supone la elevación del nivel del mar

* Biólogo, Universidad Central de Venezuela, Maestro en Ordenación Territorial y Ambiente por la Universidad de los Andes. Funcionario del Instituto Nacional de Parques (INPARQUES), Dirección General Sectorial de Parques Nacionales. Correos-e: jnaves22@gmail.com, jnaves22@hotmail.com

para Venezuela no es inminente, y el país tiene tiempo para adaptarse a futuras situaciones si dichos procesos no se aceleran.

Palabras clave: Cambio Climático Global, Nivel del Mar, Zonas Costeras, Vulnerabilidad, Riesgo, Venezuela.

Sea level variation how consequence of Global Climatic Change: an assessment of the Venezuela coast

Abstract

It is very important that every country in the world to determine the risk they face due to global climate change. This would take action to reduce the vulnerability of both its population and its infrastructure. This paper assessments the risk and vulnerabilities of the Venezuelan coast in front change of level sea. The analysis permitted a territorial assessment throughout variables how geomorphology, soil quality, population, cities size, industrial and tourists investments. I used ArcView GIS and Arc/Info GIS to make an index overlay multi-class map method. The results indicated that the coastal urban zones are more important and it has an elevate sensibility in front of a potential event of sea elevation. It has identified nine localities with very high vulnerabilities along Venezuelan coast: Maracaibo, Cabimas, the conurbation Tía Juana-Ciudad Ojeda-Lagunillas, Puerto Cabello, the conurbation Maiquetía-Catia La Mar, the conurbation Barcelona-Puerto La Cruz, Cumaná, Porlamar, and Maturin. Every localities are coastal planes with coastal lagoon or deltas forms. Moreover, they have bigger industrial and tourists investments, generated agglomerations markets. In risk zones, these conditions produce very high vulnerability how consequence of potential local impact. In the Venezuelan coast, the sea elevation change 2 mm/year, this indicates that 1 meter will late 500 years. Finally, the danger that supposed the elevated of sea level for Venezuela is not imminent and the country has time to adapt for future situations. If not change the Climatic Global conditions in the earth.

Keywords: Climatic Global Change, Sea Level, Costal Zone, Vulnerability, Risk, Venezuela.

Variation du niveau de la mer résultant du changement climatique global: évaluation de la côte vénézuélienne

Résumé

Comprendre les risques potentiels pour les pays du Potentiel Réchauffement Global est très important car il permet de faire des prévisions et de réduire les niveaux de vulnérabilité. Cette étude évalue le risque

et la vulnérabilité de la côte du Venezuela vise le changement de niveau de la mer. L'analyse a permis une évaluation territoriale par des variables telles que la géomorphologie, la qualité des sols, taille de la population des villes et des investissements industriels et touristiques. À cette fin, on a utilisé le SIG Arc/View et Arc/Info en utilisant la méthode pour estimer les cartes d'indices multicritères. Les résultats indiquent que les zones urbaines côtières sont les plus importants et ont une forte sensibilité face au possible événement de hausse de la mer. Neuf sites ont été identifiés ayant une vulnérabilité très élevée au long de la côte du Venezuela: Maracaibo, Cabimas, l'axe Tia Juana-Ciudad Ojeda, Lagunillas, Puerto Cabello, l'axe Maiquetía-Catia La Mar, l'axe de Barcelone-Puerto La Cruz, Cumaná, Porlamar, et Maturín. Tous les emplacements sont des plaines côtières avec des lagunes côtières ou des formations des deltas. En outre, ces sites ont un gros investissement industriel et touristique, ce qui permet un marché des agglomérations. Dans les zones de risque, ces conditions produisent une vulnérabilité très élevée en raison de l'impact potentiel local. Dans la côte du Venezuela, l'élévation du niveau marin change 2 mm/an, ce qui indique que 1 mètre prendra le temps de 500 ans. Enfin, le danger de l'élévation du niveau de la mer pour le Venezuela n'est pas imminent, et le pays a le temps de s'adapter pour les situations futures. Si les conditions ne changent pas dans le climat global de la Terre.

Mots-clés: changement climatique mondial, niveau de la mer, zones côtières, vulnérabilité, risque, Venezuela.

1. INTRODUCCIÓN

Los problemas ambientales se han convertido en las últimas décadas en una de las principales preocupaciones del mundo, y los diferentes gobiernos comienzan a pensar que tarde o temprano puede sucederle a su país algún tipo de evento desastroso con saldos negativos en vidas humanas, pérdida de infraestructuras, pérdida de la capacidad productiva e incluso disminución de la superficie territorial. Ya no cabe la menor duda que muchos de estos aciagos eventos están asociados con los procesos de contaminación, agotamiento de los recursos naturales y perturbaciones en los ciclos naturales del planeta que, a su vez, son consecuencia, en esencia, del tipo de desarrollo construido por el hombre desde el inicio de la Revolución Industrial.

No sabemos con precisión el alcance de dichos impactos y cuán lejos hemos llegado en provocar las perturbaciones de los ciclos globales como los del agua, el carbono, el nitrógeno, el azufre y el fósforo; o los cambios provocados en el balance de gases atmosféricos y su respectivo recalentamiento. Tampoco dónde nos encontramos respecto de los umbrales límite de estos ciclos, donde la naturaleza perderá el control de resiliencia y entraremos en procesos irreversibles de consecuencias incalculables. Esto está asociado al hecho de no conocer a fondo muchos de estos procesos y tanteamos hipótesis y posibles escenarios, sin saber con certeza a qué no estamos enfrentando.

Como siempre ha pasado en la historia de la ciencia y la humanidad, cuando los eventos desastrosos golpean nuestras poblaciones es que tomamos conciencia de la importancia de conocer a la naturaleza que siempre nos ha rodeado. Después de años de discusiones, donde científicos del mundo han mantenido posiciones contradictorias sobre los posibles impactos causados por el hombre y sus diversos alcances (Le Bras, 1997), la Organización de las Naciones Unidas logró, a través de la Organización de Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), crear en 1988 el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC) con la finalidad de evaluar la bibliografía científica y técnica sobre el cambio climático, los posibles impactos de dicho cambio y las opciones de adaptación y mitigación (Obasi & Dowdeswell, 1997). Esto muestra la importancia que hoy tiene el cambio climático a nivel internacional.

Lo que está en juego en realidad, es el estilo de vida dominante de nuestra sociedad, nuestros modos de producción y de consumo, y desde luego sus valores. Se ha generado un discurso de salvación que aboga por la naturaleza y la vida en el planeta, muy criticado por algunos especialistas. En contraste, puede afirmarse que la Tierra no está en peligro, pues quien realmente lo está es el ser humano (Ferrer, 1998). Si él desaparece, lo peor que puede suceder es que la evolución continuará sin nosotros y nuestros nichos ecológicos serán ocupados tarde o temprano por nuevas especies. Pero detrás de la lucha por salvarse a sí mismo, parece haber intereses disímiles y hasta contrapuestos, lo que dificulta llegar a acuerdos globales vinculantes.

Venezuela, por ejemplo, es un país monoprodutor petrolero, con 93,7% de población urbana y con una tasa de deforestación de 0,6% promedio anual (549.867,0 ha/año), que lo ubica por encima de la media de América Latina y del resto del mundo (The World Bank, 2008). El consumo de energía *per cápita* es de 2.293 Kg oil equivalentes y el de eléctrico *per cápita* alcanza los 2.848 kwh (26,1% combustibles fósiles y 73,9% hidroeléctrica), lo que en ambos casos representa casi el doble del consumo promedio de Latinoamérica (1.198 Kg oil eq. y 1.715 kwh); este y otros consumos energéticos producen emisiones de CO₂ *per cápita* de 6,6 Tm/año, nuevamente más del doble de la media de Latinoamérica que son 2,5 Tm/año (The World Bank, op. cit.). Esto es solo nuestro aporte doméstico directo al problema global, pero el país también colocó en los mercados internacionales entre el 2002 y el 2007 un promedio de 2.490.714 barriles de petróleo diario (Desv.Stand.: 132,682)¹, lo que representó para ese periodo 2,96% de la producción promedio mundial de esos años. Este puede ser considerado un aporte adicional indirecto a la contaminación global². Del mismo modo, la huella ecológica que Venezuela contribuye a generar a otros países por importación de bienes y servicios, los cuales para el 2006 alcanzaron los 30.559 millones de US\$, en partes

1 Información básica para el cálculo, tomada de OPEC (2008).

2 La repartición comercial del petróleo venezolano para el 2007 fue: 50,33% Norte América; 31,81% Latinoamérica; 9,90% Europa; 7,27% Asia - Pacífico; y 0,66% África.

para fabricación de vehículos automotores y remolques (15,4%), fabricación de maquinarias y equipos (14,6%), fabricación de sustancias y productos químicos (13,4%), fabricación de radios, televisores y equipos de comunicación (10,4%), elaboración de productos alimenticios y bebidas (6,7%) y otros (INE, 2007).

En el conjunto de países en vías de desarrollo, el aporte de Venezuela a la contaminación mundial es significativo, lo que nos debería hacer pensar sobre el modo en que nos hemos planteado el desarrollo y la forma en que debemos interpretar el artículo 128 de la Constitución³, así como nuestra cuota de responsabilidad en el problema Global, y no sólo recordar responsabilidades a los países desarrollados, que evidentemente tienen la cuota mundial mayor. Si no damos pasos serios para cumplir con nuestros deberes, nunca estaremos facultados para defender nuestros verdaderos derechos en foros de negociaciones internacionales. He ahí la importancia de entender este problema desde la perspectiva Latinoamericana, como sub-continente que tiene serios problemas ambientales donde el calentamiento y sus diferentes consecuencias globales van afectarnos inevitablemente.

Una de las consecuencias del calentamiento global es el derretimiento de los hielos a nivel de los casquetes polares y glaciares, lo que incorpora un volumen de agua en estado líquido a los mares, adicional a los sistemas de flujo que se observan en el ciclo global del agua (Schlesinger, 2000). Esto parece estar provocando un aumento del nivel del mar y con ello una afectación considerable a las líneas costeras de muchos países, lo cual no solo tiene consecuencias en la pérdida física de territorios y los cambios en los ecosistemas asociados, sino también impactos socioeconómicos y socioambientales, debido a que la mitad de la población mundial vive cerca de las costas y está asociada a ella cultural y económicamente (Watson, et. al., 1997). En este sentido, América Latina presenta particulares riesgos en las costas llanas y zonas estuarinas, siendo las regiones más afectadas el istmo de Centro América, Venezuela, Argentina y Uruguay, por reducción de los espacios costeros y cambio de su diversidad biológica, afectando infraestructuras productivas y de servicio (puertos, ciudades, carreteras e industrias) e incluso generando daños considerables sobre suelos agrícolas y sumideros de aguas subterráneas, por intrusiones de agua salada (Watson, et. al., op. cit.).

El presente trabajo, revisa aspectos generales del calentamiento global y hace énfasis en una de sus consecuencias fundamentales, el cambio en el nivel del mar y sus posibles efectos sobre la costa venezolana estimando las áreas de mayor riesgo frente a este fenómeno de transgresión marina. Para tal fin, se plantearon los siguientes objetivos específicos:

3 **Constitución de la República Bolivariana de Venezuela. Artículo 128.** El Estado desarrollará una política de ordenación del territorio atendiendo a las realidades ecológicas, geográficas, poblacionales, sociales, culturales, económicas, políticas, de acuerdo con las premisas del desarrollo sustentable, que incluya la información, consulta y participación ciudadana. Una ley orgánica desarrollará los principios y criterios para este ordenamiento.

- Revisar la información relevante sobre el Cambio Climático, explicando la relación entre el calentamiento global, el derretimiento de los glaciares y el aumento en el nivel del mar.
- Identificar y describir el fenómeno de los movimientos del mar y sus posibles consecuencias en el cambio del nivel del mar, así como sus efectos sobre la costa.
- Identificar algunas variables clave que permitan identificar el riesgo de regiones costeras venezolanas a nivel de parroquia.
- Evaluar el grado de amenaza de la costa venezolana frente a un potencial cambio en el nivel del mar y los factores locales que pueden definir su vulnerabilidad.

2. CALENTAMIENTO GLOBAL, GLACIACIONES Y CAMBIOS EN EL NIVEL DEL MAR

EL PLANETA TIERRA VISTO COMO UN MACRO-SISTEMA

Visto en conjunto, el sistema solar conforma un pequeño cúmulo de ocho planetas, sus satélites y numerosos asteroides, cometas y meteoritos que giran alrededor del Sol. Los planetas y su conjunto de cuerpos celestes acompañantes, están bajo el control de la fuerza gravitatoria del Sol, manteniendo diferentes rutas elípticas que forman planos orbitales particulares para cada planeta. La Tierra, el tercer planeta más cercano al Sol, conforma un macro-sistema hasta ahora excepcional, ya que es el único conocido que mantiene condiciones para producir y albergar formas de vida, tal como la conocemos hasta ahora. Esta conexión especial con el Sol no es solamente a través de la fuerza gravitatoria. Esta pequeña estrella aporta la energía fundamental para que los sistemas internos de la tierra, como la atmósfera, la hidrosfera y la biosfera, funcionen integralmente sobre la base de un cuarto sistema como la litosfera. La luz solar es la fuente de energía que produce los fenómenos de la estacionalidad climática, el calentamiento diferencial de las capas atmosféricas que generan las células de convección de Hadley y Ferrel, motores fundamentales de los vientos; así mismo, calienta la superficial del mar generando corrientes que regulan el clima de las localidades templadas o incluso fenómenos como “El Niño”, que afecta la cuenca del Pacífico desde Australia hasta la costa ecuatoriana (Capel, 1999).

La luz solar también es la fuente energética de la vida y los ecosistemas del planeta, siendo las plantas los únicos organismos capaces de aprovechar y transformar la energía lumínica en energía química a través de la fotosíntesis. Este es el mecanismo a través del cual las plantas, tomando agua (H_2O) y anhídrido carbónico (CO_2) y en

presencia de luz solar, sintetizan hidrato de carbono ($C_6H_{12}O_6^4$) y desprenden oxígeno (O_2) como residuo del proceso (Hall & Rao, 1979). Es a partir de la producción primaria de las plantas, que el resto de los compartimientos ecológicos interconectados funcionan, transportando energía y nutrientes a través de las cadenas tróficas de cada nivel de organización (Collier, et. al., 1973), incluyendo el nivel trófico humano. Las plantas también contribuyen con la atmósfera capturando dióxido de carbono gaseoso e incorporando grandes cantidades de oxígeno molecular, lo que permite que el resto de los seres vivos ejecuten sus funciones de respiración⁵. De la energía solar que alcanza a la atmósfera terrestre ($1,24 \times 10^{24}$ calorías), solo 40% llega a la tierra ($4,97 \times 10^{23}$ calorías) y de esa cantidad sólo la mitad pertenece al espectro visible capaz de activar la fotosíntesis ($2,48 \times 10^{23}$ calorías). De esa energía las plantas terminan aprovechando menos del 2% ($4,06 \times 10^{20}$ calorías), lo que es suficiente para fijar naturalmente 3×10^{11} Ton de carbono/año en forma de compuestos orgánicos (Whittingham, 1976; Hall & Rao, op. cit.).

Por su parte, la rotación diaria de la Tierra dosifica el calentamiento de los rayos solares sobre la superficie brindando luz a diferentes intensidades (cada doce horas), siendo que las máximas intensidades no duran más de tres horas al día. Así, el Sol calienta ciertas franjas de la tierra más que otras, dependiendo de la estación climática y del ángulo de incidencia solar (Gil & Olcina, 1997). Esto permite que, además de la energía aprovechada por los sistemas biológicos, la tierra acumule energía calórica durante día tanto en los continentes como en el mar. La misma llega a la Tierra en forma de onda corta y al ser absorbida por los materiales de la litósfera y de la hidrósfera son reirradiados en forma de onda larga o calórica, elevando la temperatura de las capas atmosféricas y escapando al espacio, siempre que la noche este despejada. De allí que las noches en los desiertos sean tan frías, la radiación acumulada en los suelos durante el día escapa rápidamente a través de una atmósfera seca, disminuyendo la temperatura rápidamente en las madrugadas. Este mecanismo permite a la tierra descargar el exceso de energía, ya que de acumularse elevaría la temperatura general del planeta.

En cambio cuando las noches son nubladas, la onda larga reirradiada por la superficie terrestre es absorbida por el vapor de agua de las nubes, lo que hace que horas más tarde las nubes reirradien nuevamente esa energía calórica hacia la tierra, elevando entonces la temperatura general de la localidad nublada. A este fenómeno natural de "atrapado de calor" entre la superficie terrestre y una capa de vapor de agua en forma de nubes, es lo que se conoce como "efecto invernadero" o "greenhouse". Además del vapor de agua otros gases también producen ese efecto invernadero, como el dióxido

4 Los hidratos de carbono son carbohidratos que poseen más energía que los compuestos de origen (CO_2 y H_2O).

5 Los únicos seres vivos que no toman oxígeno atmosférico son los organismos anaeróbicos, los cuales usan procesos químicos especializados para la respiración. Para ellos, el oxígeno gaseoso es letal.

de carbono (CO_2), el metano (CH_4), el óxido de nitroso (N_2O), el dióxido de azufre (SO_2), entre otros.

EL CALENTAMIENTO GLOBAL COMO FENÓMENO PASADO Y PRESENTE

La complejidad de los fenómenos climáticos descansa en las interacciones de diversas variables ambientales, que ponen de relieve la singular dificultad de concebir un modelo que reproduzca el sistema real. Con base en información paleoclimática, se sabe que durante el período Cuaternario (Pleistoceno: entre 1.600.000 y 10.000 años; Holoceno: los últimos 10.000 años) se sucedieron diferentes glaciaciones (Tarbuck & Lutgen, 1999). Una de las más estudiadas se inició hace 20.000 años y se le conoce en Europa con el nombre de Würm, en Estados Unidos como Wisconsin y en Venezuela como Glaciación Mérida (Rothery, 1998; PDVSA, 1995). En ese periodo geológico la temperatura del planeta disminuyó entre 6° y 8° por debajo de los promedios actuales y el nivel del mar descendió más de 100 metros (Gil & Olcina, 1997). Este proceso de descenso del mar se conoce como regresión marina (Bird, 2000).

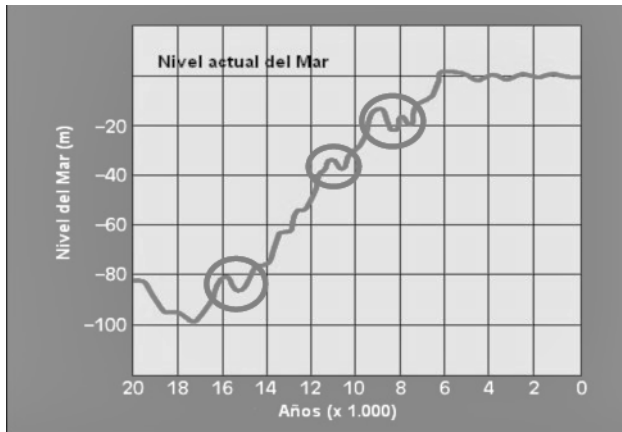


Figura 1: Aumento del nivel del mar durante el último período interglacial. Los círculos destacan los períodos de enfriamiento climático (Tomado de Tarbuck & Lutgen,

Finalizado este período glacial, hace aprox. 12.000 años, la Tierra entró en una fase de calentamiento progresivo (Interglacial) y el mar inició un proceso de transgresión marina. La figura 1 muestra la secuencia del asenso del mar durante este período según Tarbuck & Lutgen (1999). En ella se observan inflexiones de pequeñas regresiones marinas, lo que indica que pese al aumento promedio de la temperatura el clima sufrió nuevos

períodos de enfriamiento globales. Entre los más estudiados de estos períodos de frío intenso esta el Younger Dryas, entre los 12.800 y 11.550 años a.n.e. (Björck, et. al., 2002; ver círculo intermedio de la figura 1). Así, las condiciones actuales imperan aproximadamente desde el año 2.800 a.n.e., mostrando ciertas variaciones históricas. Estudios sobre estos cambios de temperatura atmosférica indican la existencia de oscilaciones

climáticas que enfriaron a Europa entre los siglos VIII a XIII y luego otro período frío entre los siglos XIV y XIX, donde los glaciares alpinos avanzaron nuevamente (Gil & Olcina, 1997). Esto nos muestra que existen cambios naturales en la climatología del planeta y que son recurrentes.

En 1958, investigadores de la Fundación Scripps iniciaron un proyecto de mediciones sistemáticas de CO_2 atmosférico desde el Mauna Loa Observatory, Hawai, con motivo del Año Geofísico Internacional⁶; mientras que el Instituto de Estudios Espaciales Goddard, estudiaba la relación con el posible aumento de la temperatura atmosférica. Si bien los resultados han mostrado un cambio regular en su composición gaseosa, desde 316 ppm de CO_2 en 1958, 355 ppm en 1990 y más de 375 ppm en la actualidad (Le Bras, 1997; Glick, 2004), los resultados de mediciones de la temperatura no han sido tan evidentes, entre 1880 y 1940 se observó un aumento de $0,5^\circ\text{C}$; luego, hasta 1965 hubo un enfriamiento de $0,2^\circ\text{C}$; y hasta 1993 hubo un nuevo calentamiento de $0,5^\circ\text{C}$ (Gil & Olcina, 1997). Por su parte, los análisis de burbujas de aire atrapadas en las diferentes capas de hielo de la Antártica y Groenlandia, han arrojado información que indica de forma más clara la relación entre la elevación de la concentración de CO_2 y el aumento de la

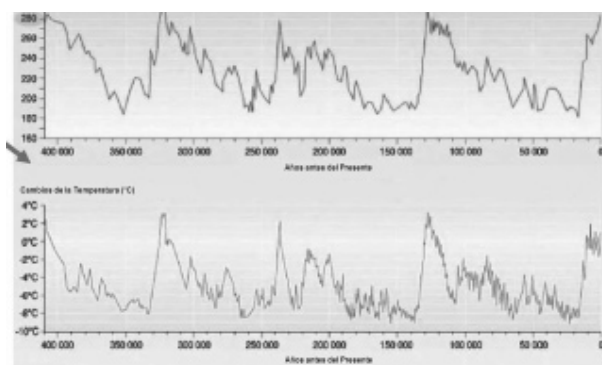


Figura 2: Curvas que comparan la similitud en las fluctuaciones entre los cambios de la temperatura atmosférica y en la concentración de CO_2 a lo largo de 400.000 años. Tomado de la página Web del IPCC: www.ipcc.ch

temperatura (Petit, et. al., 1999). La figura 2 muestra el resultado de estos estudios observándose que ambas curvas muestran ritmos oscilatorios similares. Adicionalmente, aun cuando la contribución al calentamiento atmosférico viene dado por una mezcla de gases invernadero, la fracción de CO_2 representa el 76,7% de dicha mezcla: 56,6 por combustibles fósiles, 17,3% por deforestación y degradación de biomasa y 2,8% otros (IPCC, 2007).

Uno de los principales argumentos en contra de la comparación directa de estas curvas es el hecho de que la Tierra como sistema integrado tiene diferentes mecanismos compensadores y controladores de la temperatura, lo que puede hacer que aun aceptando que existe una recarga calórica por absorción de diferentes gases invernadero, el

⁶ Keeling Curve. Publisher: Aug 25th, 2010 in http://www.climatecentral.org/gallery/graphics/keeling_curve/

planeta puede disipar dicho excedente (Gil & Olcina, 1997). Así, las células convectivas de viento, las tormentas y huracanes, la circulación termohalina de los mares, el derretimiento de los hielos, entre otros, son diferentes mecanismos controladores de la temperatura terrestre. Solo que ellos también tienen consecuencias adicionales sobre la vida del planeta. En el caso particular que nos ocupa, el derretimiento de las masas de hielo se ha considerado uno de los mecanismos fundamentales para el aumento del nivel del mar. Si bien se vienen observando reducciones y cambios en los ciclos de los glaciares y el permafrost a nivel mundial, fue el colapso de 3.400 Km² de la Plataforma de Larsen en la Antártica, en un poco más de un mes, lo que alarmó a científicos y políticos del mundo, por ser una evidencia contundente del calentamiento del sistema climático, tal y como lo demuestra el aumento progresivo de la temperatura del aire y los océanos, el deshielo generalizado y el aumento del promedio del nivel del mar (IPCC, 2007). Entre las estimaciones del IPCC están, que una desaparición total del manto de hielo de Groenlandia provocaría un aumento del nivel del mar por el orden de los 7 metros, si es que el promedio de calentamiento mundial alcanza valores por encima de 1,9 y 4,6°C respecto a los valores preindustriales. A pesar de que el manto de hielo Antártico seguirá estando demasiado frío para experimentar una fusión superficial profunda, podría, sin embargo, experimentarse una pérdida neta de hielo si su descarga dinámica fuese un factor predominante en el equilibrio de las masas de los mantos de hielo (IPCC, op. cit.).

3. EVALUACIÓN DEL RIESGO DE LA COSTA VENEZOLANA FRENTE A CAMBIOS EN EL NIVEL DEL MAR

ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

En Venezuela los estudios dedicados al Cambio Climático no han constituido parte de una estrategia general del Estado venezolano, más bien han respondido a las preocupaciones individuales de investigadores —especialistas de las universidades y de un conjunto de técnicos-profesionales de los Ministerios (como el de Ambiente) que, aprovechando algunos convenios internacionales y compromisos asumidos por la Nación, han intentado constituir una línea de investigación sobre temas tan novedosos e importantes como este. Existen una serie de trabajos que, si bien no siguen el mismo lineamiento, han abordado el aumento del nivel del mar, como uno de los temas claves dentro los efectos del Cambio Climático.

A comienzo de los años 90 se realizaron los primeros trabajos sobre los posibles efectos del aumento del nivel del mar en la costa venezolana, a partir del análisis de datos continuos a lo largo de 21 y 36 años sobre las variaciones de mareas e infiriendo algunas implicaciones regionales del aumento relativo del nivel del mar, así como el

riesgo de la zona costera venezolana, particularmente las tierras bajas y sus implicaciones ambientales, sociales, económicas y geopolíticas (Aparicio, et. al., 1990). Paralelo a este estudio, Almeida (1990 y 1992) centró su esfuerzo en recopilar toda la información de mareógrafos existente hasta la fecha, estimando las funciones de regresión lineal para cada uno de las cinco estaciones mareográficas evaluadas. Lo más resaltante de sus resultados es haber demostrado que hay un de aumento progresivo del nivel del mar de 1,4 mm promedio anuales (Amuay: 0,9 mm/año; La Guaira: 2,2 mm/año; Cumaná: 2,0 mm/año; Carúpano: -2,1 mm/año y Maracaibo: 3,8 mm/año). También se ha evaluado la morfología costera y su sensibilidad ante el incremento del nivel del mar, proporcionando un análisis del ambiente costero venezolano y sus posibles respuestas ante el fenómeno (Roa-Morales, 1991). En marzo de 1992 se realizó en la isla de Margarita un Taller Internacional sobre Cambio Climático Global y el reto del Incremento del Nivel del Mar, auspiciado por el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (MARNR), y el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) – Subgrupo Gestión de Zonas Costeras y la Agencia de Protección Ambiental de USA – Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica. Fueron presentados dos trabajos por Venezuela: el primero evalúa los posibles impactos de la costa venezolana frente a un potencial aumento de un metro del nivel del mar, reportando un pérdida aproximada de 6.000 Km² de tierras a lo largo de la costa, donde las zonas con mayor afectación potencial son las tierras más bajas de las planicies costeras y los deltas, afectando particularmente las zonas de infraestructuras petroleras y las áreas urbanas. También se reportaron como sensibles a estos cambios los ecosistemas de manglares y los arrecifes coralinos (Arismendi & Volonté, 1992). El segundo trabajo centra su análisis en el problema de la planificación costera y el desarrollo institucional en Venezuela, propone cambios en el proceso tradicional de toma de decisiones, aumentando la participación ciudadana y de los municipios en la planificación y administración de las áreas y recursos costeros (Díaz, 1992).

Si bien estos trabajos brindaron nueva información sobre el fenómeno y sus posibles consecuencias, el no haber seguido la metodología común propuesta por el IPCC (1990) hizo que sus resultados no fueran comparables con el de otros países, por lo que se hicieron recomendaciones al MARNR para que desarrollara un proyecto con dicha metodología. Así, cuatro años más tarde se presentaron los primeros resultados utilizando dicha técnica, analizando los impactos potenciales del incremento del nivel del mar en cinco localidades costeras (Olivo & Perdomo, 1996). Este último trabajo, estima que para un incremento en el nivel del mar de un metro, podrían perderse 131,13 Km², pero implementando las opciones de protección en zonas importantes sólo se perderían 86,16 Km². Así mismo, las áreas detectadas como vulnerables de inundación y erosión, y que fueron estudiadas a detalle son: a) la costa oriental del Lago de Maracaibo; b) la costa oriental del Estado Falcón; c) la llanura costera entre Cabo Codera y la Laguna de Tacarigua; d) el sector Barcelona, Puerto La Cruz, Guanta; y e) dos sectores de la Isla de Margarita, Playa el Agua y Juan Griego.

Pese a sus alcances del momento, el trabajo no explica claramente porque se seleccionan estas cinco localidades y un análisis de este tipo con cartografía analógica representa un gran esfuerzo de organización y ensamblaje cartográfico, particularmente en el proceso de medición planimétrica, el cual, incorpora una gran cantidad de errores que para el momento eran considerados aceptables.

El presente estudio, si bien no pretendió ahondar en los detalles de cada localidad, da una visión general de la costa venezolana y sus diferentes sectores vulnerables al incremento del nivel del mar. La cartografía en ambiente digital permitió hacer un análisis general para la identificación de sitios vulnerables, manejando métodos automatizados de análisis espacial y combinando información física y socioeconómica, además del conocimiento acumulado que ahora se tiene sobre dicho fenómeno, debido al esfuerzo investigativo de muchos grupos internacionales, que demuestran que el aumento del nivel del mar puede acelerarse y suceder de forma más rápida de lo estimado hasta años recientes (Watson, et. al., 1997; IPCC, 2007). Lo importante de este estudio preliminar es que prueba una metodología automatizada y un conjunto de variables con información de expertos, sistematizando el análisis. También confirma algunos de los resultados obtenidos por Olivo & Perdomo (1996) y proporcionan nuevas localidades que deben ser analizadas en más detalle.

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La costa venezolana se caracteriza por una alta diversidad de paisaje de diferentes orígenes, debido a su compleja historia geológica - geomorfológica, lo que ha producido un conjunto de unidades territoriales muy diferentes y contrastantes a lo largo de la misma (Freiles, 1962 y 1965). Pueden observarse líneas de costa de acantilado rocoso de origen tectónico, con o sin bahías de playa; también vastas regiones de costa llana y sedimentaria. Estas están generalmente modeladas por los ríos continentales y pueden formar deltas, lagunas costeras o largas líneas de playa donde el sedimento es distribuido por las corrientes marinas locales. Igualmente la línea de costa puede estar protegida por arcos de islas, siendo estas denominadas costas marginales (Bird, 2000), tales son los casos de los Parques Nacionales Morrocoy y Mochima.

La línea de costa venezolana se extiende desde Castilletes, en la costa de la Goajira, hasta Punta de Playa en la isla Corocoro al norte del río Barima, frontera con la zona en reclamación del Esequibo, la misma alcanza una distancia aproximada de 3.492,31 kilómetros⁷, incluyendo el Lago de Maracaibo. De esta línea, 65,1% pertenece al

7 En vista de las disímiles distancias de la costa venezolana encontradas en la literatura, se reporta la distanción medida con el SIG en el presente estudio. Mapa de Venezuela escala

frente sur del mar Caribe y 34,9% al frente Atlántico (PDVSA, 1995). La zona costera es bañada por las aguas del mar Caribe, que a su vez son empujadas por los vientos alisios del noreste en dirección suroeste, lo que produce un movimiento oscilatorio en forma de oleaje. Adicionalmente, el mar Caribe presenta un movimiento de mareas que afecta la costa venezolana, el mismo depende de su posición geográfica. Así la línea de costa occidental presenta un promedio anual de elevación de mareas de 0,21 m, con una mínima de 0,11 m en febrero y una máxima de 0,31 m en octubre⁸; por su parte, la costa central tiene un promedio anual de pleamar de 0,13 m, con máximas de 0,22 m en octubre y mínima de 0,07 m en enero⁹; y finalmente, la costa oriental presenta las mayores oscilaciones, con un promedio anual de pleamar de 0,61 m, con máxima de 0,69 m en septiembre y mínima de 0,56 m en abril (IGVSB, 2008).

Esto puede parecer insignificante en regiones de costas estrechas y con fuertes pendientes, no ocurre lo mismo en las planicies costeras donde unos escasos centímetros de elevación significan varios metros hacia dentro de la línea de costa. Estos fenómenos pueden observarse en las planicies de inundación del Parque Nacional Morrocoy y el Refugio de Fauna Silvestre de Cuare, Estado Falcón, pero es particularmente conspicuo en el Parque Nacional Turuepano, delta de los ríos Guariquén y Turuepano en el Estado Sucre.

PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

El análisis de la costa venezolana se realizó con cartografía base a escala 1:500.000, aunque se incorporó información procedente de escalas 1:100.000, 1:250.000, 1:1.750.000 y 1:2.000.000. Esta cartografía se digitalizó y se georreferenció en base a protocolos de trabajo preestablecidos para tal fin (ESRI, 1992 y 1997; Lantada & Núñez, 2004) para los software de PC ArcInfo versión 3.5.1 y ArcView 3.2. Además, para el cargado y corrección de las base de datos, así como la corrida de los análisis, se usó una computadora portátil hp Compaq 671b con 2 GB de memoria y procesador Intel Core (TM) 2 Duo CPU. La información se manejó a nivel cartográfico y de información estadística de atributos que fueron cargados en la estructura de tablas de los mapas digitales para realizar el análisis. Así, se utilizó la siguiente información cartográfica:

1. Mapa con la división política de Venezuela a nivel de estado, municipio y parroquia, escala 1:100.000.

1:500.000. Su versión original de Cartografía Nacional (1972-1977) presenta coordenadas geográficas, Datum La Canoa (SAD-56), proyección Cónico Secante compensado. El mismo fue digitalizado y re-proyectado en UTM con el software PC ArcInfo versión 3.5.1.

8 Datos de mareas tomados del Puerto de Amuay, Estado Falcón.

9 Datos de mareas tomados del Puerto de La Guaira, Estado Vargas.

2. Mapa fisiográfico de Venezuela a nivel de provincias, regiones y unidades, escala 1:500.000 (Modificación y ajuste de escala en base a Freiles, 1962 y 1965).
3. Mapa de los suelos de Venezuela a nivel de orden y suborden, así como información sobre limitaciones edáficas a escala 1:1.750.000.
4. Cobertura cartográfica de las ciudades costeras de Venezuela con más de 1.200 habitantes, digitalizada a partir de la información del Nomenclador de Centros Poblados, Censo 2001 (INE, 2003), cartografía 1:250.000 e imágenes de Google Earth.

En el mapa de división política se trabajó a nivel de parroquias y se cargaron en las tablas de atributos tres tipos de información fundamental para el análisis: a) la planimetría con la superficie de cada parroquia; b) la población en base a la proyección para el 2005 (INE, 2005); y c) el Producto Interno Bruto (PIB) por parroquia costera¹⁰. Por su parte, la cobertura de ciudades costeras contiene información del número de habitantes para el Censo 2001 e información sobre el nivel de importancia económica en base a su participación comercial en el desarrollo industrial, desarrollo de infraestructura turística, presencia de puertos de comercio exterior y valor comercial global. Para ello se obtuvo información de ubicación de puertos y montos de intercambio comercial (INE, 2007), la clasificación de ciudades en base a capacidad de relación comercial global (Pulido, 2004) e información de inversión turística en base al Plan Nacional de Desarrollo Turístico (MINTUR, 2005a y b). Los restantes mapas se analizaron en base a la amenaza que ofrece la forma del terreno (mapa fisiográfico) a la calidad agrícola y uso actual de los suelos que potencialmente pueden perderse de aumentar el nivel del mar.

Para la identificación de las localidades vulnerables al aumento del nivel del mar, se utilizó el análisis multicriterio o *index overlay multi-class map* (Barredo, 1996; Ordoñez & Martínez-Alegria, 2003), el cual permite analizar grandes áreas de territorio asignando a las diferentes clases de cada capa información un puntaje de adecuación numérica que, multiplicado por el peso de cada capa, permite simular a través de un algoritmo matemático, clasificando numéricamente los territorios evaluados y expresarlos cartográficamente, ofreciendo un mapa síntesis de riesgo. En nuestro caso, se produjeron dos mapas preliminares, uno de territorios sensibles a procesos de inundación por elevación del nivel del mar (de riesgo físico), compuesto por: 1) la cobertura de parroquias costeras (densidad poblacional y PIB); 2) riesgo por unidades fisiográficas; y 3) riesgo de suelos. El segundo mapa clasifica la vulnerabilidad de las ciudades costeras en base a las variables de inversión antes mencionadas. Finalmente, el cruce de los resultados de ambos mapas permite determinar espacialmente el riesgo potencial de ciertas localidades costeras en base a su situación física de terreno (amenaza) y su

10 El PIB por parroquia se calculó en base al PIB *per cápita* (The World Bank, 2008) multiplicado por el número de habitantes de cada parroquia.

importancia socio-económica, lo cual indicaría su vulnerabilidad o grado de incapacidad adaptativa a los cambios ambientales, en este caso al cambio en el nivel del mar.

RESULTADOS

El análisis cartográfico digital muestra información en dos niveles fundamentales: el nivel específico de cada variable utilizada y el nivel de síntesis por combinación de la información. Los resultados muestran, según la percepción de los especialistas consultados, que las variables más influyentes sobre riesgo de la costa venezolana son, en orden de peso, las siguientes: 1) la densidad poblacional por parroquia (Peso = 0,1612), 2) la geomorfología costera (Peso = 0,1429), 3) el tamaño de las ciudades (Peso = 0,1319), 4) la presencia de parques industriales (Peso = 0,1264), 5) la presencia de infraestructuras turísticas (Peso = 0,1190), 6) el Producto Interno Bruto (PIB) de cada parroquia (Peso = 0,1154), 7) la presencia de puertos de intercambio comercial internacional (Peso = 0,1099) y 8) la calidad agrícola de los suelos (Peso = 0,0934).

Así mismo, la combinación de dichos pesos multiplicado por el puntaje asignado a las categorías de cada variable indican que las parroquias costeras con alto y muy alto riesgo al aumento del nivel del mar son: en el estado Zulia, las parroquias asociadas a la ciudad de Maracaibo y en el estado Sucre, las parroquias pertenecientes a la ciudad de Cumaná. En el caso de la geomorfología, las costas de alta y muy alta amenaza serían aquellas llanuras costeras con formaciones deltaicas, lagunas, istmos (tómbolos) e islas. Llama particularmente la atención la costa oriental del Lago de Maracaibo que, siendo una llanura costera, ve elevada su amenaza de inundación por fenómenos de subsidencia causados por la extracción de hidrocarburos en la zona, lo que ha generado sectores que están entre 4 y 5 metros por debajo del nivel del lago, impactando un área de aproximadamente 40 Km² donde un muro de contención evita la inundación de las ciudades de Lagunillas, Bachaquero y Tía Juana (Sully & Murria, 1992; Araujo, 2007). En el caso de las ciudades costeras, se evaluó en conjunto su tamaño, presencia de parque industrial, infraestructuras turísticas y presencia de puertos de intercambio comercial internacional, destacándose por su elevada vulnerabilidad: Maracaibo, Cabimas, Lagunillas y Ciudad Ojeda en el Zulia; Puerto Cabello y El Palito en Carabobo; Maiquetía en Vargas; la conurbación conformada por Barcelona, Puerto La Cruz, Pozuelos, Guanta y Pertigalete en el estado Anzoátegui; Cumaná en Sucre; y finalmente Porlamar y Pampatar en Nueva Esparta.

Con el PIB por parroquias se pretendió destacar el grado de importancia comercial de estas entidades costeras y cuál de ellas mueve internamente más circulante, con lo que subraya su dinámica económica. Aquí destacan, por alta y muy alta vulnerabilidad al aumento del nivel del mar, nuevamente las parroquias asociadas a la ciudad de Maracaibo en el estado Zulia; la parroquia San Antonio del Municipio Miranda y las

parroquias Punta Cardón, Carirubana y Norte del Municipio Carirubana, todas ellas en el estado Falcón; la parroquia urbana Juan José Flores del Municipio Puerto Cabello, estado Carabobo; la Parroquia Catia La Mar del estado Vargas; las parroquias San Cristóbal y El Carmen del municipio Simón Bolívar, El Morro del municipio turístico Diego B. Urdaneta, Pozuelos y Puerto La Cruz del Municipio Juan Antonio Sotillo, todos del estado Anzoátegui; las parroquias Altagracia, Santa Inés y Valentín Valiente del municipio y estado Sucre; y finalmente la parroquia y municipio Mariño del estado Nueva Esparta.

En el caso de la calidad agrícola de los suelos se consideraron aquellas unidades sin limitaciones edáficas (Tierras tipo I y II), aquellas con limitaciones moderadas de relieve y drenaje (consideradas como Tierras tipo III y IV) y las tierras que por tradición han sido usadas para actividades agropecuarias. El análisis muestra que las tierras con amenazas alta y muy alta frente a inundaciones de origen marino quedan circunscritas a las tierras llanas alrededor del Lago de Maracaibo; los valles de las cuencas media-baja de los ríos Tocuyo y Yaracuy; la cuenca baja del los ríos Tuy y Caucaagua (sin incluir sus zonas deltaicas y de lagunas costeras); fondo de los valles de los afluentes del río Unare; la llanura deltaica media de Tucupita en sus secciones de ultisoles de la zona sur y entisoles arenosos de la zona norte; finalmente, tenemos las llanuras costeras de Margarita, que si bien son aridisoles, tradicionalmente se han utilizado con riego para la producción de hortalizas, maíz, pasto para ganado, etc.

El análisis multicriterio de todas las variables muestra que a lo largo de la costa venezolana existen 8 localidades con “muy alto riesgo” frente a la elevación del nivel del mar: 1) la ciudad de Maracaibo y sus alrededores; 2) la costa oriental del Lago de Maracaibo; 3) Puerto Cabello-El Palito; 4) Maiquetía y sus alrededores; 5) la conurbación Barcelona-Puerto La Cruz-Guanta-Pertigalete; 6) Cumaná y sus áreas de influencia; 7) la planicies ganaderas al norte y sur de Maturín y; 8) la planicie donde se asienta la ciudad de Porlamar (Apéndice 1, 2 y 3).

Adicionalmente, los mapas de los apéndices también muestran otras 8 zonas de “alto riesgo”, como son: 1) las planicies inundables por presencias de geomofologías deltaicas, lagunas costeras y zonas de subsidencia del Lago de Maracaibo; 2) la planicie de los Médanos de Coro; 3) la zona de Cuare-Morrocoy-Golfo Triste; 4) las costas de Borburata y Catia La Mar; 5) la planicie costera de la Laguna de Tacarigua y su alrededores; 6) la llanura de Aragua de Barcelona; 7) las llanuras deltaicas de Tucupita, y; 8) las planicies costeras alrededor de la isla de Margarita (sección oriental).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La comparación de resultados obtenidos en el presente estudio con los trabajos realizados para Venezuela hasta la fecha, muestra que las técnicas de cartografía digital

pueden afinar los resultados obtenidos con cartografía analógica, debido a que permiten combinar más información y delinear el dibujo cartográfico con mayor precisión. Además que los procesos de combinación de coberturas cartográfica son más expeditos y eficientes. La determinación de localidades venezolana amenazadas por la elevación del nivel del mar, a través de información físico territorial confirma lo encontrado en trabajos previos (Olivo & Perdomo, 1996; Watson, et. a., 1997; IPCC, 2007) sobre las geomorfologías costeras más sensibles a este tipo de procesos, siendo los relieves con mayor afectación potencial las planicies costeras con formaciones de deltas, zonas de lagunas costeras e islas pequeñas. A estos hay que sumar el caso de la costa oriental del Lago de Maracaibo que por efectos antropogénicos (más de 70 años de explotación petrolera) se han generado procesos de subsidencia que han sido corregidos con la construcción un dique de contención a finales de los años 60. Esto ha evitado la inundación de las ciudades de Lagunillas, Cabimas, Bachaquero, Tía Juana y Ciudad Ojeda, que son emplazamientos urbanos importantes con fuertes inversiones industriales asociadas al negocio petrolero de la región. Adicionalmente, los estudios de microzonificación sísmica han reportado que esta zona también es propensa a licuefacción de suelos en caso de movimientos tectónicos (Sully & Murria, 1992).

Una zona importante para ser tomada en cuenta en próximos estudios más detallados es la región de los deltas de los ríos Orinoco y San Juan. Si bien esta región no está muy habitada y no posee grandes inversiones, su geomorfología y su extensión la hace ser la mayor extensión territorial amenazada frente a una transgresión marina. En nuestro análisis pudo observarse que Maturín, aun cuando está a casi 200 Kms de la costa, se encuentra sobre terrenos de alta y muy alta amenaza de inundación (Apéndice 3). Las localidades de Ciudad Bolívar, Ciudad Piar y Puerto Ordaz no se incluyeron en el estudio, ya que se encuentran entre los 220 y 300 Kms de la línea de costa, aunque un factor a tomar en cuenta es el posible impacto de la elevación del mar al frenar el empuje de las aguas del río Orinoco, tomando en cuenta que estas son menos densas que el agua de mar. Este choque de corrientes podría causar inundaciones devastadoras a lo largo de su eje central del cauce, afectando directamente a estas ciudades que se ubican cerca de los 50 metros de altitud.

Por otra parte, el análisis de las ciudades en función del tamaño, del emplazamiento de puertos e infraestructuras industriales y turísticas, no solo muestra el nivel de importancia de cada centro urbano sino que la presencia de una ciudad altamente vulnerable, al cruzar dicha información con la de amenaza física. Los casos más ilustrativos son los de la costa central, donde aunque la amenaza moderada sus ciudades son altamente vulnerables (Puerto Cabello – El Palito y Catia La Mar – Maiquetía), por lo que pasan a tener un riesgo muy alto.

En el caso de Margarita, las localidades analizadas por Olivero & Perdomo (1996), Playa el Agua y Juan Griego, no quedan confirmadas como localidades de muy alto riesgo, si bien sus planicies presentan amenazas evidentes, los emplazamiento urbanos

quedan clasificados con vulnerabilidad de moderada a baja. En cambio, según estos nuevos resultados, las ciudades de riesgo alto y muy alto serían Pampatar y Porlamar, no solo por poseer las mayores inversiones turísticas en la isla, incluyendo el puerto y aeropuerto de mayor importancia, sino que sus características físicas con presencia de lagunas costeras muestran una elevada sensibilidad a las inundaciones. Quizá la diferencia de resultados estribe en las escalas cartográficas utilizadas para ambos trabajos, siendo que en escala 1:100.000 pueden evaluarse planicies más pequeñas como Playa el Agua y Juan Griego. Con ello, no deja de reconocerse, que geomorfologías costeras con lagunas como la de Juan Griego y la Galera son altamente sensibles a procesos de inundación, pero en este caso, su valoración no muestra un alto riesgo.

Finalmente, los datos reportados por Almeida (1990 y 1992) sobre el aumento del nivel del mar para Venezuela coinciden con los de las costas del Caribe mexicano (Sánchez-Santilla, et. al., 2005) e incluso para los promedios mundiales estimados (IPCC, 2007), lo que indica que un aumento de 1 metro en el nivel del mar para la costa venezolana, tardaría unos 500 años, dando suficiente tiempo al país para desarrollar soluciones adaptativas a las nuevas condiciones de la línea de costa, siempre y cuando no se produzcan cambios bruscos en la velocidad de elevación del nivel promedio de mareas. El análisis realizado durante el presente estudio a través de la cartografía digital y utilizando el análisis multicriterio permite concluir lo siguiente:

El número de localidades de riesgo frente al aumento del nivel del mar, determinadas en el presente estudio es superior al encontrado por Olivo & Perdomo en 1996, debido a la mayor cantidad de información por coberturas que pueden utilizar los SIG a través de sus bases de datos y el detalle del dibujo cartográfico digital, haciéndolo más eficiente como herramienta de análisis.

La información físico territorial demostró ser suficiente para determinar las localidades con mayores amenazas de inundación, mientras que la información de ciudades complementa dichas localidades y muestra como los emplazamientos urbanos elevan el riesgo de las localidades, introduciendo elementos de vulnerabilidad por intervención humana que hacen menos flexible las posibles soluciones.

La combinación de ambos tipos de información (físico-territorial y de ciudades) y la detección de 16 localidades de alto y muy alto riesgo, muestran la urgente necesidad de abrir proyectos que estudien de forma más detallada, las localidades aquí reportadas bajo amenaza de afectación por elevación del nivel del mar.

Los resultados obtenidos confirman para el caso la costa venezolana, que las localidades con amenazas naturales siguen siendo las costas llanas con unidades geomorfológicas de deltas, lagunas costeras e islas pequeñas, tal como ha sido reportado en la literatura especializada.

Combinando estos resultados y la velocidad de aumento del nivel del mar reportada en la literatura puede afirmarse que Venezuela no se encuentra en un peligro inmediato

y que existe suficiente tiempo para estudiar medidas mitigantes y/o adaptativas para futuros cambios en la línea de costa, siempre y cuando los fenómenos globales no aceleren las velocidades reportadas hasta la fecha.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, Y. 1990. Mediciones en mareógrafos situados en la línea de costa venezolana. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. SAGECAN. 45 p.
- Almeida, Y. 1992. Estudio preliminar sobre la variabilidad del nivel del mar en las costas de Venezuela. *Revista Geográfica del Instituto Panamericano de Geografía e Historia*, 115: 5-26.
- Aparicio, R., J. Castañeda & M. Perdomo, 1990. Regional implications of relative sea level rise and Global Climate Change along the marine boundaries of Venezuela. In: Titus, J. (Ed.). *Changing Climate and the Coast*. Environmental Protection Agency, Washington, DC. N° 2: 385 – 397.
- Araujo, A. 2007. *La subsidencia: aspectos jurídicos y sus consecuencias*. *Revista de la Facultad de Ciencias Jurídicas y Políticas de la Universidad Central de Venezuela*, 129: 19-40. Versión digital: http://www.ulpiano.org.ve/revistas/bases/artic/texto/RDUCV/129/ucv_2007_129_19-40.pdf
- Arismendi, J. & C. Volonté. 1992. The impact of sea level rise on the coastline of Venezuela. Pp. 453 – 471. In: *Costal zone management subgroup Intergovernmental Panel on Climate Change. Global Climate Change and the Rising Challenge of the Sea. Proceeding of the International Workshop held on Margarita Island, Venezuela. Mach 9-13.*
- Barredo, J. 1996. *Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio*. Publicado por RA-MA Editorial, Madrid. 264 p.
- Bird, E. 2000. *Coastal geomorphology an introduction*. John Wiley & Sons, LTD, Chichester, England. 322 p.
- Björck, S., O. Bennikw, P. Rosén, C. Andresen, S. Bohncke, E. Kaas & D. Conley. 2002. Anomalously mild Younger Dryas summer conditions in southern Greenland. *Geology*, 30(5): 427-230.
- Capel, J. 1999. “El Niño” y el sistema climático terrestre. *Colección Ariel Geografía*. Editorial Ariel, S.A. Barcelona. 158 p.
- Collier, B., G. Cox, A. Johnson & P. Miller. 1973. *Dynamic ecology*. Prentice – Hall, INC., Englewood Cliff, N.J. 564 p.
- Díaz, E. 1992. *Gestión de costas en Venezuela*. Pp. 473 – 479. In: *Costal zone management subgroup Intergovernmental Panel on Climate Change. Global Climate Change and the Rising Challenge of the Sea. Proceeding of the International Workshop held on Margarita Island, Venezuela. Mach 9-13.*

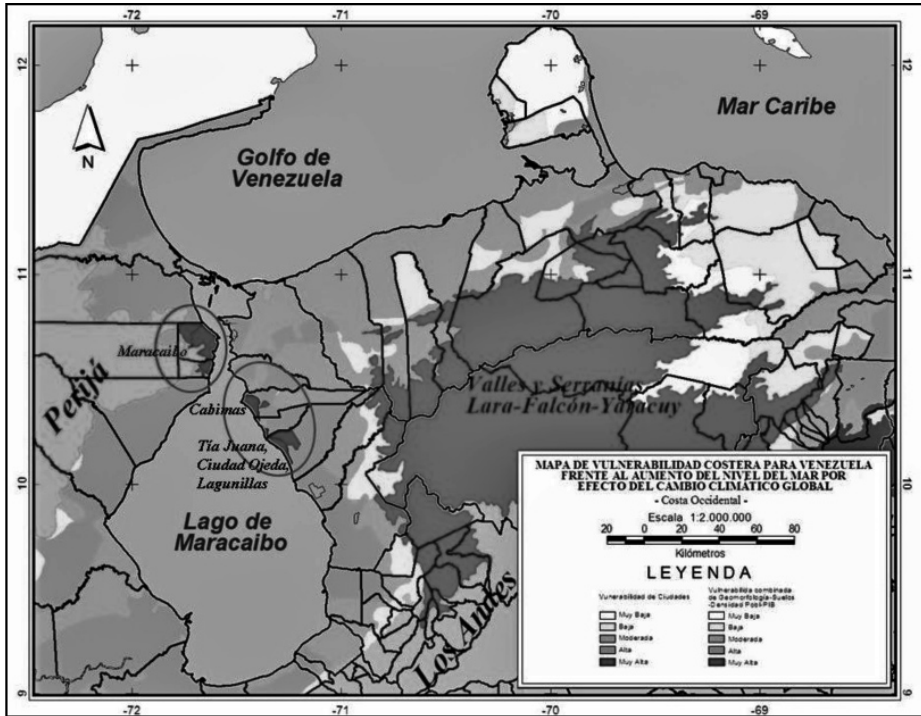
- ESRI. 1992. Quick reference guide PC Arc/Info version 3.4D Plus. Environmental Systems Research Institute, Inc. USA. 108 p.
- ESRI. 1997. Understanding GIS: The ARC/INFO Method (Version 7.2 for UNIX and Windows NT). Environmental Systems Research Institute, Inc. California. 508 p.
- Ferrer, E, 1998. Ordenación territorial, poblamiento marginal y ambiente. Pp. 77-102. En: Fernández, M. E. (Ed.). Nuevas tendencias en geografía (Ponencias). Publicado por la Dirección de Medio, Publicaciones y RRPP de la Universidad de Carabobo, Valencia.
- Freiles, A. 1962. Mapa fisiográfico de Venezuela. Pp. 122-123. En: MOP. (1969). Atlas de Venezuela. MOP/Dirección de Cartografía Nacional, Caracas.
- Freiles, A. 1965. Memoria descriptiva del mapa fisiográfico de Venezuela. Publicación de la Dirección de Geografía de las Fuerzas Armadas (DIGECAFA), Caracas.
- Gil, A. & J. Olcina. 1997. Climatología general. Colección Ariel Geografía. Editorial Ariel, S.A. Barcelona. 580 p.
- Gitay, H., A. Suárez, R. Watson & D. Dokken (Eds.). 2002. Cambio Climático y Biodiversidad. Documento técnico V del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). Publicado por la Organización Petrológica Mundial (OMM) & el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), Suiza. 85 p.
- Glick, D. 2004. El gran deshielo. *National Geographic*, 15(3): 13-33.
- González, S. 2008. Vaticinan expansión de desiertos en el país por calentamiento global. Artículo de prensa publicado en *El Nacional*, jueves 23/10/2008; Ciudadanos, p. 3.
- Hall, D. & K. Rao. 1979. Fotosíntesis. Cuadernos de biología. Ediciones Omega, S.A., Barcelona. 80 p.
- IGVSB. 2008. Predicciones de alturas horarias de la marea para los puertos de amuay, la guaira y puerto de hierro e informaciones mareográficas de interés general. Informe anual mimeografiado del Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar, Caracas. 171 p.
- INE. 2003. Nomenclador de centros poblados y de comunidades indígenas 2001. Publicación digital (CD versión 1.0) del Instituto Nacional de Estadística.
- INE, 2005. Estimaciones y proyecciones de población 1950 – 2050. Publicación digital (CD) del Instituto Nacional de Estadística. Serie OI N° 209.
- INE. 2007. Comercio exterior de Venezuela: 2005 – 2006. Tríptico publicado por el Departamento de Servicios al Usuarios del Instituto Nacional de Estadística, Caracas.
- IPCC. 1990. Strategies for adaptation to sea level rise. Report of the Coastal Zone Management Subgroup. IPCC Working Group III, Rijkswaterstaat, the Netherlands: Ministry of Transport, Public Works and Water Management, 122 p.

- IPCC. 2007: Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 págs.
- Lantada, N. & M. A. Núñez. 2004. *Sistemas de información geográfica: prácticas con Arc View*. Alfaomega Grupo Editorial, S. A. y Ediciones UPC, S.L., España. 226 p.
- Le Bras, H. 1997. Los límites del planeta: mitos de la naturaleza y de la población. Colección Ariel Geografía. Editorial Ariel, S.A. Barcelona. 256 p.
- MINTUR, 2005a. Desarrollo endógeno del turismo: cooperación y sinergia entre las instituciones del Estado. Plan para el desarrollo turístico nacional preparado por el Ministerio de Turismo, Caracas. 170 p.
- MINTUR. 2005b. Ministerio de Turismo: Gestión 2005. Memoria de gestión del 2005 del Ministerio de Turismo, Caracas. 53 p.
- Obasi, G. & E. Dowdeswell, 1997. Prólogo (p. v). En: Watson, R., M. Zinyowera, R. Moss & D. Dokken (Eds.). Impactos regionales del cambio climático; evaluación de la vulnerabilidad (Resumen para responsables de políticas). Informe especial de grupo de trabajo II del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). Publicado por la Organización Petrológica Mundial (OMM) & el Programa de Nacionales Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), Suiza. 16 p.
- Olivo, M. & M. Perdomo. 1996. Vulnerabilidad al incremento del nivel del mar originado por el cambio climático global; Venezuela. Informe mimeografiado de caso de estudio Venezuela sobre Cambios Climáticos. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (MARNR), Ministerio de Energía y Minas (MEM) & el U.S. Country Studies Program (USCSP), Caracas. 42 p.
- OPEC. 2008. OPEC Annual Report 2007. Publishing by OPEC Public Relations and Information Department, Vienna. 70 p.
- Ordóñez, C. & Martínez-Alegría, R. 2003. Sistemas de información geográfica: aplicaciones prácticas con Idrisi32 al análisis de riesgos naturales y problemática medioambiental. Publicado por Alfaomega Grupo Editorial, S.A., México. 227 p.
- PDVSA. 1995. Imagen de Venezuela: una visión espacial. 3ra. Edición. Producido por el Instituto de Ingeniería. Petróleos de Venezuela, S.A., Caracas. 272 p.
- Petit, J., J. Jouzel, D. Raynaud, J. Barnola, I. Basil, M. Bender, J. Chappellaz, M. Davis, G. Delaygue, M. Delmotte, V. Kotlyakov, M. Legrand, V. Lipenkov, C. Lorius, L. Pépin, C. Ritz, E. Saltzman & M. Stievenard. 1999. Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica. *Nature*, 399: 429-436.

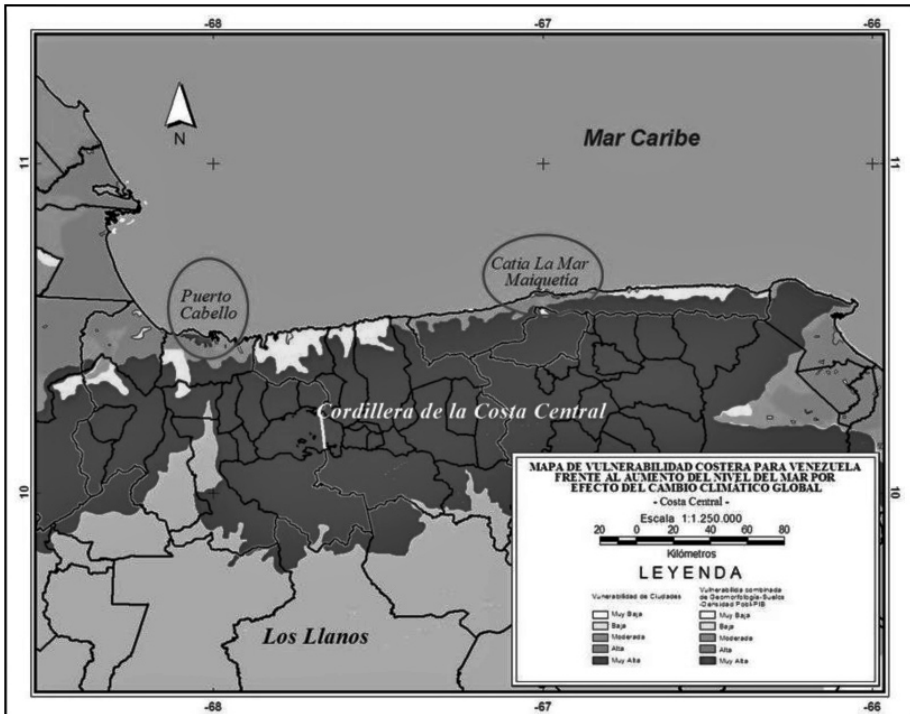
- Roa-Morales, P. 1991. Coastal morphology and sea-level rise consequences in Venezuela. International Sea-Level Rise Studies Project. Institute of Marine and Coastal Sciences Rutgers. New Brunswick, The State University of New Jersey. 24 p.
- Rothery, D. 1998. Geología. Ediciones Pirámide, S.A., Madrid. 291 p.
- Sánchez-Santillán, N., R. Garduño & P. Negrete. 2005. Análisis del nivel del mar en seis puertos del Golfo de México a través de un método alternativo. *ContactoS*, 57: 21-27.
- Schlesinger, W. 2000. Biogeoquímica: un análisis del cambio global. Colección Ariel Ciencias. Editorial Ariel, S.A. Barcelona. 582 p.
- Sully, J. & J. Murria. 1992. Microzonificación sísmica en la costa oriental del Lago de Maracaibo, Venezuela. Memorias del Ire Congreso Iberoamericano sobre técnicas aplicadas a la gestión de emergencias para la reducción de desastres naturales. Valencia, España. 12 p. Versión digital tomada de: <http://desastres.usac.edu.gt/documentos/pdf/spa/doc4997/doc4997-cotenido.pdf>
- Tarback, E. & F. Lutgens. 1999. Ciencia de la tierra: una introducción a la geología física. Prentice Hall, Madrid. 616 p.
- The World Bank. 2008. The little green data book: 2008. Publishing for International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank, Washington. 232 p.
- Watson, R., M. Zinyowera, R. Moss & D. Dokken (Eds.). 1997. Impactos regionales del cambio climático; evaluación de la vulnerabilidad (Resumen para responsables de políticas). Informe especial de grupo de trabajo II del IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). Publicado por la Organización Petrológica Mundial (OMM) & el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), Suiza. 16 p.
- Whittingham, C. 1976. El mecanismo de la fotosíntesis. H. Blume Ediciones, Madrid. 176 p.

APÉNDICE

Apéndice 1 Mapa de vulnerabilidad por elevación del nivel del mar de la costa occidental de Venezuela.



Apéndice 2 Mapa de vulnerabilidad por elevación del nivel del mar de la costa central de Venezuela.



Apéndice 3 Mapa de vulnerabilidad por elevación del nivel del mar de la costa oriental de Venezuela.

