



InVemar
Colombia
50% Mar

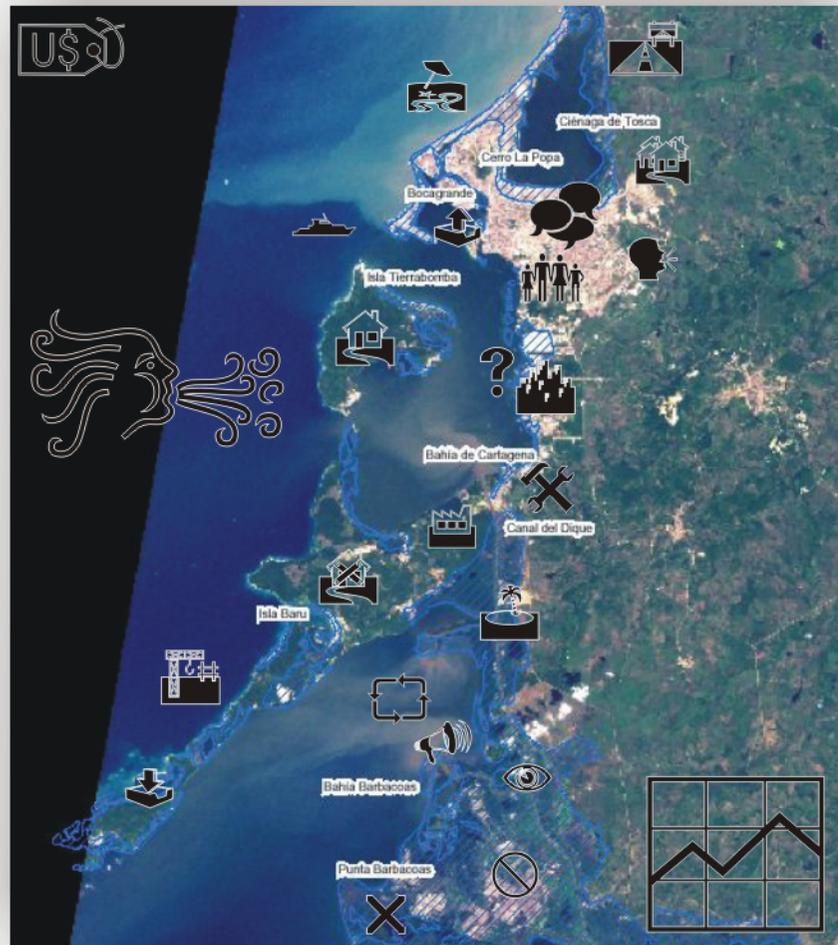


Libertad y Orden
Ministerio de Ambiente, Vivienda
y Desarrollo Territorial
República de Colombia

Programa Holandés de Asistencia para estudios en Cambio Climático: Colombia.

Definición de la vulnerabilidad de los sistemas bio-geofísicos
y socioeconómicos debido a un cambio en el nivel del mar en la
zona costera colombiana (Caribe, Insular y Pacífico)
y medidas para su adaptación.

Informe Técnico No. 5 Estrategias de Respuesta



Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras
José Benito Vives De Andrés
Vinculado al Ministerio del Medio Ambiente

Santa Marta, Febrero 2003

Definición de la vulnerabilidad de los sistemas biogeofísicos y socioeconómicos debido a un cambio en el nivel del mar en la zona costera colombiana (Caribe, Insular y Pacífico) y medidas para su adaptación

ESTRATEGIAS DE RESPUESTA

Santa Marta DTHC - 2003

DIRECTIVOS INVEMAR

Capitán de Navío
FRANCISCO A. ARIAS ISAZA
Director General

JESÚS ANTONIO GARAY T
Subdirector de Investigación
Coordinador (E) Calidad Ambiental
Marina (CAM)

JUAN MANUEL DÍAZ M.
Coordinador Programa Biodiversidad y
Ecosistemas Marinos (BEM)

ROBERTO FEDERICO NEWMARK U.
Coordinador (E) Programa Valoración y
Aprovechamiento de Recursos
Marinos Vivos (VAR)

PAULA CRISTINA SIERRA C.
Coordinadora Programa de Investigación
para la Gestión Marina y Costera (GEZ)

INVEMAR
Cerro Punta de Betín,
Santa Marta - Colombia
Apartado Aéreo 1016
<http://www.invemar.org.co>
gez@invemar.org.co

ESSENTIAL DATA

Activity number: WW094507 // CO010401
Project name: Netherlands Climate Change Studies
Assistance Programme, Colombia: Defining
vulnerability of Bio-geophysical and social-economic
system due to sea level change in the Colombian
coastal zone (Pacific and Caribbean) and adaptation
measures.
Location: Colombia
Duration: 22 months
Contractor: Marine and Coastal Research Institute
(INVEMAR)
Ministry of the Environment (MMA)
Contractor Address: Cerro Punta Betín A.A. 1016
Santa Marta, Colombia, South America
Counterpart: The Institute for Environmental Studies of
the Free University of Amsterdam
Counterpart Address: De Boelelaan 1115, 1081 HV
Amsterdam, The Netherlands
Counterpart: The Royal Netherlands Embassy in Santa
fé de Bogotá
Counterpart Address: Carrera 13 No. 93-40
Santa fé de Bogotá, Colombia

DIRECCION CIENTÍFICA DEL PROYECTO

CN Francisco A. Arias Isaza
Director General INVEMAR

Paula Cristina Sierra Correa
Coordinadora Programa de Investigación
para la Gestión Marina y Costera-GEZ
INVEMAR

David A. Alonso Carvajal
Coordinador línea de Técnicas e Instrumentos de
Planificación -GEZ
INVEMAR

GRUPO DE INVESTIGACIÓN

Martha Patricia Vides
Bióloga Marina
INVEMAR

Luz Marelvis Londoño
Economista. Cand. MSc. Economía en Medio
Ambiente
INVEMAR

Martha Lilliana Fontalvo
Microbióloga. Esp. EIA
INVEMAR

Carmen Lilliana Lacambra
Bióloga MSc. Manejo de Zonas Costeras
INVEMAR

Iván Darío Correa
Geólogo PhD Geología
Universidad EAFIT

Sarah Hernández
Economista. Msc. Economía.
HUMBOLDT

TN Ricardo Molares
TN Erick Guayana Labrador
TN Luis Otero
Armada Nacional (CIOH, CCCP)

LABORATORIO DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN

Clara del Pilar Lozano
Ing. Catastral y Geodesta. Esp. Ing. de Software
INVEMAR

Armando González
Ing. de Sistemas. Esp. en SIG y Sensores Remotos
INVEMAR

Cesar Fernando García
Biólogo Marino
INVEMAR

CONSULTORES

Amparo Ramos Mora
Abogado. MSc. Gestión Ambiental de Zonas Costeras

Carlos Andrade
Oceanógrafo. PhD Oceanografía

Rafael Steer Ruiz
Oceanógrafo. MSc. Economía y Política Marina

ESTUDIANTE DE PRE-GRADO - TESISISTA :

Olga Lucia Monteleagre
Convenio UJTL-INVEMAR

ASESORES INTERNACIONALES:

Arjan van der Weck
Marcel Rozeijmeyer
DELFT HYDRAULICS

COORDINADOR DEL NCCSAP:

Kees Dorland
Vrije Universiteit Amsterdam -IVM

PUNTO FOCAL NCCSAP-COLOMBIA

Fabian Navarrete Le Bas
Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial

COORDINACIÓN ADMINISTRATIVA Y FINANCIERA

Grupo de la Subdirección de Recursos y
Apoyo a la Investigación SRAI
INVEMAR



Tabla de contenido

TABLA DE CONTENIDO	I
LISTA DE FIGURAS	III
LISTA DE TABLAS	V
ABSTRACT	7
EXECUTIVE SUMMARY	9
HUMAN RESPONSES	9
<i>Protection Strategies for the Colombian Coastal Zone</i>	10
CRITICAL AREAS IDENTIFICATION	11
STRATEGIES IDENTIFICATION	11
STRATEGIES SPECIFICATION AND COSTS ANALYSES	12
<i>Development plans</i>	12
<i>Additional Measures</i>	13
San Andrés de Tumaco, Urban area	13
Integrated Management Unit Guapi - Iscuandé	14
Buenaventura	14
Santa Marta.....	15
Barranquilla and Ciénaga Grande de Santa Marta.....	16
Cartagena	17
Morrosquillo Gulf.....	17
<i>Protection strategies associated costs</i>	18
INTRODUCCIÓN	19
ACCIONES PLANEADAS ANTE EL ASCENSO DEL NIVEL DEL MAR.	23
EVACUACIÓN	23
ADAPTACIÓN.....	24
PROTECCIÓN.....	25
<i>Diseño de paredes de protección</i>	25
<i>Relleno de playas</i>	27
<i>Obras en los deltas y estuarios</i>	29
<i>Acreción</i>	30
<i>Recubrimientos y reforzamiento de estructuras existentes</i>	30
<i>Creación de ecosistemas artificiales</i>	30
<i>Tubos de geotextil</i>	31
ESTRATEGIAS USADAS EN COLOMBIA	33
REUBICACIÓN.....	33
PROTECCIÓN.....	34
<i>Sector Golfo de Morrosquillo</i>	34
<i>Sector Cartagena</i>	36
<i>Sector Buenaventura</i>	36
ESTRATEGIAS DE ADAPTACIÓN	39

IDENTIFICACIÓN DE LAS ÁREAS CRÍTICAS EN COLOMBIA.....	40
<i>Áreas críticas en la proyección de 30 cm de ANM.....</i>	<i>42</i>
<i>Áreas críticas en la proyección de 100 cm de ANM.....</i>	<i>46</i>
ANÁLISIS DE LAS POSIBLES ESTRATEGIAS DE RESPUESTA	51
IDENTIFICACIÓN DE ESTRATEGIAS POR ANÁLISIS MULTICRITERIO	51
Santa Marta.....	57
Barranquilla	57
Cartagena	58
Turbo	58
Morrosquillo.....	59
Buenaventura.....	59
Guapi	60
Tumaco.....	60
ESPECIFICACIÓN DE ESTRATEGIAS DE RESPUESTA Y COSTOS	61
<i>Estrategia de respuesta “sin medidas ”</i>	<i>61</i>
<i>Estrategias de respuesta “protección total”</i>	<i>61</i>
SAN ANDRES DE TUMACO: Cabecera municipal.....	62
UNIDAD DE MANEJO INTEGRADO GUAPI-ISCUANDE	65
BUENAVENTURA	66
SANTA MARTA	68
CIENAGA GRANDE DE SANTA MARTA Y BARRANQUILLA.....	70
CARTAGENA D.T.C.H.....	72
GOLFO DE MORROSQUILLO.....	74
ESTRATEGIA A ESCALA NACIONAL.....	76
ESTIMACIÓN DE COSTOS ASOCIADOS A LAS ESTRATEGIAS DE RESPUESTA:	79
<i>Aspectos metodológicos.....</i>	<i>79</i>
<i>Planificación Local</i>	<i>80</i>
<i>Medidas Adicionales.....</i>	<i>80</i>
BIBLIOGRAFÍA	87
Anexo 1.	89
Anexo 2.	91
Anexo 3. Anexo 3.1. Costos de las medidas adicionales para cada área crítica.	92

Lista de Figuras

FIGURA 1. DISEÑOS DE PAREDES DE PROTECCIÓN. (TOMADO DE NICHOLLS ET AL., 1995)	26
FIGURA 2. PERFILES DE LA COSTA ASOCIADOS CON MOVIMIENTOS DE ARENA.	28
FIGURA 3. LLENADO DE UN GEOTUBO, CON UN CORTE TRANSVERSAL ESQUEMÁTICO.....	31
FIGURA 5. ESPOLONES DE LA POBLACIÓN DE COVEÑAS.	35
FIGURA 8. REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE LAS ÁREAS CRÍTICAS DEFINIDAS MEDIANTE LA MATRIZ DE VALOR DE IMPORTANCIA CON 30 CM DE ANM EN LAS CONDICIONES ACTUALES. EL VALOR DE IMPORTANCIA SE DEFINE COMO LA SUMA DE VALORES PONDERADOS DE ÁREA INUNDADA, POBLACIÓN AFECTADA Y ÁREAS DE MANEJO ESPECIAL AL NIVEL MUNICIPAL.....	47
FIGURA 9. REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE LAS ÁREAS CRÍTICAS DE LA REGIÓN PACÍFICO DEFINIDAS MEDIANTE LA MATRIZ DE VALOR DE IMPORTANCIA CON 0.3 Y 1 M DE ANM EN LAS CONDICIONES ACTUALES. EL VALOR DE IMPORTANCIA SE DEFINE COMO LA SUMA DE VALORES PONDERADOS DE ÁREA INUNDADA, POBLACIÓN AFECTADA Y ÁREAS DE MANEJO ESPECIAL AL NIVEL MUNICIPAL.....	49
FIGURA 10. ESQUEMATIZACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS DE RESPUESTA ANTE UN ANM EN LA CABECERA MUNICIPAL DE SAN ANDRÉS DE TUMACO.....	63
FIGURA 11. PUENTE EL PINDO, UNIÓN ENTRE TUMACO Y EL CONTINENTE. SU ESTADO ACTUAL PRESENTA RIESGOS DE EROSIÓN EN SUS BASES. (TOMADO DE CCCP, 1998).....	65
FIGURA 12. ESQUEMATIZACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS DE RESPUESTA ANTE UN ANM EN LA UNIDAD DE MANEJO INTEGRADO DE GUAPI-ISCUANDÉ	66
FIGURA 13. ESQUEMATIZACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS DE RESPUESTA ANTE UN ANM EN BUENAVENTURA.	67
FIGURA 14. ESQUEMATIZACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS DE RESPUESTA ANTE UN ANM EN SANTA MARTA. SECTOR TAGANGA, EL RODADERO Y PNN TAYRONA.	69
FIGURA 15. ESQUEMATIZACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS DE RESPUESTA ANTE UN ANM EN BARRANQUILLA Y CGSM.....	71
FIGURA 16. ESQUEMATIZACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS DE RESPUESTA ANTE UN ANM EN CARTAGENA.....	74
FIGURA 17. ESQUEMATIZACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS DE RESPUESTA ANTE UN ANM EN EL GOLFO DE MORROSQUILLO.	75
FIGURA 18. ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL GENERAL DEL SISTEMA NACIONAL AMBIENTAL -SINA	78

Lista de Tablas

TABLA 1. ESTIMATIVO DE COSTO DE RELLENO DE PLAYAS PARA ALGUNOS PAÍSES (1996).	28
TABLA 2 LISTA DE CHEQUEO DE ELEMENTOS DE CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO DEL PROYECTO.	41
TABLA 3A. MATRIZ DE DETERMINACIÓN DE ÁREAS CRÍTICAS DE LA REGIÓN CARIBE, CONSIDERADO UN ASCENSO DEL NIVEL DEL MAR DE 0.30 M Y DE 1 M, BAJO LAS CONDICIONES ACTUALES.	43
TABLA 4. ESQUEMA DE LA MATRIZ DE ANÁLISIS MULTI-CRITERIO PARA LA JERARQUIZACIÓN DE ESTRATEGIAS DE RESPUESTA.	52
TABLA 5 ESTRATEGIAS RECOMENDADAS PARA CADA UNA DE LAS ÁREAS CRÍTICAS Y CASO DE ESTUDIO, DE ACUERDO A LOS RESULTADOS DEL ANÁLISIS MULTICRITERIO.	55
TABLA 6. ESTRATEGIAS DE RESPUESTA CON “PROTECCIÓN TOTAL”	77
TABLA 7. COSTOS INICIALES (US\$ MILL) PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTRATEGIA DE PROTECCIÓN TOTAL EN LOS PRINCIPALES MUNICIPIO O ÁREAS COSTERAS CON MAYOR IMPACTO.	83
TABLA 8. COSTOS ANUALES (US\$ MILL/KM) DE LAS ESTRATEGIAS DE PROTECCIÓN TOTAL EN LOS PRINCIPALES MUNICIPIOS O ÁREAS COSTERAS CON MAYOR IMPACTO.	85

Abstract

The IPCC methodology establishes three main response options to sea level rise: accommodate, retreat and protect. The viability of execution of these strategies and the effects caused on the natural system are the main frame to evaluate the vulnerability of an area.

In this context, the here in report analysis pretend to identify responses strategies that Colombia would have to assume to reduce the impacts of SLR and to estimate in a rough way their possible cost. However, not all the Colombian coastal zone was analyzed. Critical areas were determine for the analysis by the construction of a matrix of importance at the municipality level, which results showed the most important urban center as the main critical points: Cartagena, Barranquilla Turbo and Santa Marta at the Caribbean and Tumaco and Buenaventura at the Pacific coast.

Expert opinion a multicriteria analysis was implemented with the purpose of identifying the strategies options that would be more suitable for each critical area, in an optimistic scenario and considering at minimum two situations: a no measure situation and a full protection situation. However, case study areas (Morrosquillo and Guapi) were also considered in the protection strategies analysis. The main strategy for all the critical areas was the implementation of development plans in order to make a better management of the coastal zone. Such plans are already being implemented by local authorities and involve education, soils rational use, resources exploitation, identification of hazards and land planning among other issues. However, none of those plans have considered sea level change or awareness to the communities and authorities about the topic. In relation with protection strategies differences were seen according to the characteristic importance of the areas. As an example, coastal defences would be feasible in Cartagena and Santa Marta, whereas in Barranquilla the main strategies focuses on the delta management and avoiding the location of population in the southern bound of the river.

As the main result of the cost analysis, a total protection strategy for a critical area, adding management plans and additional measures to address sea level rise, would require a 2.8% of the national GDP for the year 2001.

The main conclusion of this report, is that the analysis here in done should be consider as an academic and fist impression exercise of the IPCC methodology, to identify the strengths and weakness of the present and future of Colombian Coastal Zones Management. The necessary measures to undertake the impacts of the future climate change, should be taken under conscious and specific studies, based on former experiences and previous socialization measures. It's also important to address the importance of future studies to consider as well all the other impacts of climate change.

Key words: response strategies, full protection, cost analysis.

Executive summary

Human responses to the possible changes on the natural system due to sea level rise could be defined based on a hypothetical point of view or based on occurred phenomena. Several attempts have been made trying to predict the human responses to SLR, especially on those countries that are going to be strongly affected. Although several studies have been made around the world to model the responses of the systems such as beaches, mangroves, dunes, rocky coasts and other systems, such studies are just beginning in Colombia.

The ways in which people have responded to changes on subsiding coasts have varied with social, political and economic factors. A global sea level rise is likely to produce three kinds of response:

1. Evacuation, abandoning the land as it is submerged and eroded, and possible adapting to the effects of the rising sea
2. Attempts to maintain the existing coastline and coastal margin by means of engineering works
3. Counter-attack, notably by building walls to enclose and reclaim intertidal and near shore areas.

The response strategies that Colombia would have to assume to reduce the impacts of SLR are fully analyzed thru this step. However, not all the coastal area was analyzed. Only the most critical areas identified by a matrix of importance done at the municipality level were evaluated. This analysis should be considered as an academic and first impression exercise of the IPCC methodology, to identify the strengths and weakness of the present and future of Colombian Coastal Zones Management. The necessary measures to undertake the impacts of the future climate change should be taken under conscious and specific studies, based on former experiences and previous socialization measures. It is also important to address the importance of future studies to consider as well all other climate change impacts.

Human responses

Planned adaptation options to sea-level rise are usually presented as one of three generic approaches:

- Retreat – all natural system effects are allowed to occur and, pulling back from the coast will minimize human impacts.
- Accommodation – all natural system effects are allowed to occur and, adjusting human use of the coastal zone will minimize human impacts.
- Protection – natural system effects are controlled by soft or hard engineering, human impacts are to be reduced in the zone that would be impacted without protection.

In practice, many responses may be hybrid and combine elements of more than one approach. Losses of coastal land have occurred as a result of cliff recession, beach erosion and the retreat of sectors of shoreline on deltas and coastal plains. Apart from urban and industrial

areas and ports, where sea walls and other structures have been built to halt coastline recession, usually the human response has been to abandon the threatened structures. Erosion and submergence of beaches, as sea level rises, will be the mayor problem in areas that have been already developed. Where an important infrastructure has developed the retreat option will mean moving or abandoning structures that have been build for recreational use and tourists accommodation.

Where the coastal development consists only of small and relative inexpensive buildings, it is easier to abandon them. In the same way, the actual terrains on the alluvial plains that are dedicated to agriculture would force their owners to retreat to more favorable areas. On parts of deltas already showing erosion because of the reduction of sediment yield by dams; local inhabitants have already abandoned farms and villages, and structures such as fishpond and salt pans.

The most recent reported retreat response on the Pacific Colombian coast is the El Choncho Village, located before its complete retreat, on one of the six barriers islands from the San Juan River Delta. From 1998 until 1999 the island suffered from severe changes on its structure that leded to the total separation from the continent accompanied with an outrageous erosion rate (15 m/y). In spite of this condition, the population refused to leave their terrains. In 1997 a severe over wash of the whole island alerted the government to negotiate their retreat to the continent, as they did on 1998. The government helped with some construction material, but the new housing construction was totally assumed by the residents.

While important autonomous adaptations will occur in coastal zones, the possible responses to climate change will require planned adaptation. This planned adaptation may include policies to allow autonomous adaptations to occur to the maximum possible extent. Evaluating adaptation requires a full understanding of the impact potential and the adaptation potential. The latter factor embraces autonomous adaptation, and (anticipatory and reactive) planned adaptations. This allows a realistic assessment of the likely initial and residual impacts, and hence the real vulnerability.

The most likely human response to sea level rise, especially in long-settled urbanized areas, will be to try to maintain the present coast line by constructing sea walls, and to introduce drainage systems to prevent submergence of low lying coastal land.

PROTECTION STRATEGIES FOR THE COLOMBIAN COASTAL ZONE

There are three fundamental and interrelated questions about adaptation: Where to adapt? How to adapt? And, When to Adapt? If we knew the future climate with some precision, an analysis of costs and benefits would help us provide the answer to these questions. However, the uncertainty about future climate and many other factors is large and we need to think in a risk- and uncertainty-based manner rather than looking for deterministic solutions.

Sea level rise has potential impacts. Anticipatory planned adaptation can reduce these potential impacts to the initial impacts. Reactive adaptation (including autonomous adaptation) in response to the initial impacts further reduces the impacts to the residual impacts. The realistic magnitude of the initial and residual impacts is a key measure of vulnerability.

Within this concept and conscious that the serious impacts that SLR could have on the Colombian coastal zones, the use of anticipatory measures is fully justified. The analysis of the possible response options for Colombia is here in listed. This analysis is made under the two SLR projections chosen by the project (30 cm by the year 2030 an 1 m SLR by 2100).

Critical areas identification

With the purpose of identifying critical areas due to sea level rise on the Colombian coastal zones, Caribbean and Pacific, a matrix for the identification of importance of each municipality was constructed. The first step of this task was the elaboration of a checklist of main characteristics that can be affected in a relevant way by the effect of flooding. The results of the checklist were organized in 5 components: physical, biotic, social economic, governance and hazards. The last aspect was considered due to the importance of the natural events consequences on the formulation of responses strategies and planning issues.

The following step was to identify a few criteria that could resume the most important and relevant elements that characterized by its important the municipalities. The chosen criteria were the following:

- Percentage of flooding of the municipality within the study area
- Urban population affected by SLR (according to each projection)
- Percentage of affected urban population (according to each projection)
- Presence infrastructure (in danger of being flooded)
- Special management areas (national or international designed areas of conservation)

Afterwards the value of the elements selected for each one of the coastal zone municipalities by the generation of data ranges was assigned with a value of 1, 2 or 3 depending on the qualification of the data ranges in low, medium or high. After this, a calculation of the importance value for each municipality was done in terms of low (green), medium (yellow) and high (red) importance.

The results of the 30 cm-2030 matrix show as hot spots the municipalities of Cartagena and Santa Marta as well as Turbo and Tumaco. Within the 2100 analysis, besides the already mentioned ones, Barranquilla and Buenaventura are considered highly important and thus as a critical area to be protected against SLR. The municipalities over lower lands as Ciénaga Grande de Santa Marta had in conjunction, a relative importance.

The importance of the urban areas are reflected by the high population they encounter, the accommodation and industrial infrastructure, the recognition of special categories related with historical and cultural places, landscape and biodiversity values near them and vulnerability to natural events hazards as flooding, tropical storms, strong rains and occasional sea level rise.

Strategies Identification

A multicriteria analysis was implemented with the aim to establish which of the chosen protection strategies would be more suitable to be accomplished in each hot spot area. Despite of all the possible strategies, only those that were considered in the discussion with the expert were subjected to analysis. Even though there are differences between the options to be implemented in each hot spot area, it is very important to note that the implementation of the areas' development plans, some of which are already being implemented, and the investment on research and knowledge creation are the most recommended strategies, despite that are not strategies to address directly the flooding fact. Coastal defences would be feasible in Cartagena and Santa Marta, whereas in Barranquilla the main strategies focuses on the delta management and avoiding the location of population in the southern bound of the river.

Population relocation is another important tool, mostly in the Pacific coast where thousands of people inhabit in the intertidal areas at present time. Buenaventura and Tumaco plans are already in process of implementing the allocation of the people, the main task for local governments will be then, to avoid new colonization of those areas.

Alarm systems are another strategy that even though will not address sea level change would decrease the number of victims caused by natural disasters. It is probably the cheapest option and the one that would save more lives.

Other strategies considered were artificial reefs and islands, beach nourishment, strengthen of existing coastal defences, accretion, adaptation and no intervention. All of them have been described and fully analysed in the selection process.

Finally, and apart of the cost and benefit analysis, it can be concluded that the strategies for the Pacific coast should be more orientated to management issues because there is not as much infrastructure and there is still plenty of mangrove, so strategies should aim for its development. On the other hand, strategies for Santa Marta, Cartagena and Barranquilla aim to protect the infrastructure and historical monuments that are invaluable for the region, country and humanity.

The most likely human response to sea level rise, especially in long-settled urbanized areas, will be trying to maintain the present coast line by constructing sea walls, and to introduce drainage systems to prevent submergence of low lying coastal land.

Parallel to this analysis a comprehensive research on each hot spot development plan was done in order to establish a total protection strategy that involves the development objectives of the areas as well as the additional measures needed to address sea level rise.

Strategies specification and costs analyses

The IPCC methodology establishes three main response options to sea level rise: accommodate, retreat and protect. The viability of execution of these strategies and the effects caused on the natural system are the main frame to evaluate the vulnerability of the area. In this context, a costs analysis of the possible strategies follows in the present report. However, this first attempt only considers a number of options that were thought to be best in an optimistic scenario and considering at minimum two situations: a no measure situation and a full protection situation.

The no measure situation aims to settle a reference level, assuming the maximum impact due to ASLR, without additional measures and at 0 costs investment. The full protection strategy shows the maximum economical costs, assuming that the impacts and effects of ASLR would be minimal.

The protection option not only includes the defence of coastal line, but also protection strategies against flooding areas caused by rivers over wash and rain storms. The full protection situation includes two main strategies:

DEVELOPMENT PLANS

This strategy involves the implementation of current development plans as well as current land planning strategies on each of the municipalities identified as a hot spot. According to law (Law 152, 1994) a Municipality Development Plan aims to enable a sustainable economic development that considers programs and projects in which environmental goods and values are estimated, in order to guarantee the environmental surplus for present and future

generations. Adding to that, each municipality POT (land planning strategy) aims to gather together, harmonize and actualise other planning strategies such as the development plans, the organic law on urban areas, environmental laws and other strategies described in the national constitution related to development, planning and territory that are implemented in a certain area. According to Colombian legislation the POT is an instrument for each municipality and should establish mechanisms to promote sustainable development, conservation, protection and preservation of cultural and environmental assets, adequate urban planning and the prevention of natural disasters.

Although POT embrace land planning strategies and present projections up to 10 years, both instruments have been included, cited and analysed along this report for each of the areas that were protection strategies should be adopted.

ADDITIONAL MEASURES

Actual development plans do not include the implementation of measures or actions to approach sea level rise and its effects. Thus, these strategies include all those measures that involve the construction of structures or adaptation of systems to sea level rise

Once the critical areas were identified and parallel to the analysis of the possible protection strategies, a comprehensive study on each area development plan was done. Both analyses were gathered together and a final strategy for each area was proposed, based on the development plans and the protection strategies feasibility.

The measures included in a total protection strategy would be developed at short, medium and long term. According to the law Development plans should be accomplished before 10 years time. The completion of additional measures would depend on the investment required and the urgency of its requirement. Measures such as population reallocation, beach nourishment, alert systems and investigation investment should be developed at short term. All the other strategies that rely on structures constructions such as sea walls, river embankment and the artificial island would be thought to be accomplished at medium to long term. Values and costs of such strategies are included as well in the main document.

The results of the multicriteria analysis is presented for the major critical areas:

San Andrés de Tumaco, Urban area

A brief reference to the main characteristics of the urban area was done over a map, with the purpose of getting a common view of the area. The city is an important point of economic development situated in a delta. Natural phenomena like earthquakes and tsunamis have affected the city. For this reason, municipality development plans have been established with strategies of adaptation and retreat. The strategies identified in this VA analysis are complementary to those municipality plans.

List of strategies measures identified:

1. Establish a new regulatory measure for designing and construction of houses, infrastructure, roads, etc. The measure is “do not develop anything below the 3.40 meter altitude line”. The area below the 3.40-meter line has to serve as an area where natural processes have the space to develop themselves without hindrance. The natural processes will create a natural buffer zone, which will “grow” with the sea. Sand and silt deposits stabilised by mangroves and other plant will form a natural dyke, which can serve as safety zone. If some infrastructure is develop close to this line additional small scale

measures must be implemented too, like small dikes or elevated grounds especially when it is concerning industrial activities.

2. Strengthened education programs, in order to train people about the value of natural delta and coastal processes and how to deal with them.
3. Develop and implementation of an early warning system and 'safe-areas' for disasters (Tsunamis, earthquakes and storm-surges)
4. Action plan in relation with "El Niño" phenomena
5. Develop of a research program for the study of natural process, looking forward the generation of protection strategies.
6. Give advice for the adaptation of the local port
7. Develop a regulatory system for land planning, including risk zoning.

Integrated Management Unit Guapi - Iscuandé

This case study area was characterized as a site where people and natural processes have learned to live together. For this reason most strategies are formulated in order to safeguard natural process:

1. Strengthen education programs, in order to train people about the value of natural delta and coastal processes and how to deal with them. Develop a method to extract the local knowledge available on sustainable development of mangroves.
2. Elaboration of a general education program which includes new productive ways of using natural resources, and other types of economical activity in order to improve general quality of life.
3. Regulation for the management and use of mangroves forest (natural protection structures)
4. Elaboration of a research program based on natural process study, in order to identify protection strategies for mangroves.
5. Mobilization and retreat of affected people.

Buenaventura

Two important aspects taken into account for this critical area were: i) the fact that the city was settled on a small hill, but it has grown towards the coastal zone and, ii) it has become the main Colombian port at the Pacific coast.

Considering those aspects, the main strategies identified were:

1. Create a research program for the study of natural process
2. Educational program to increase the awareness of people to the importance of protection

3. Establish the new regulatory measures for design and construction of houses, infrastructure, roads, etc. Not to develop anything below the 3.40-meter altitude line (see also Tumaco)
4. Elaboration of an education and awareness program in order to demonstrate the importance of mangroves
5. Share sea level rise knowledge with industry managers in order to incorporate this knowledge in construction, design criteria and identify small scale solutions for protection measures on a local scale.
6. Elaborate specific studies on the planning of houses settlement in the area
7. Establish an early warning system for natural hazards
8. Recommend not invest in infrastructure for a large time scale, search for new alternatives and make a cost/benefit evaluation.

Santa Marta

The analysis was done for the municipality of Santa Marta taking four sectors into account: the city of Santa Marta, Tayrona's Park, Taganga fishermen settlement and the tourist village of El Rodadero.

Santa Marta city

1. Formulation of education plans looking forward a tourist development
2. Manzanares' river management plan: retreat of people from the floodplain area, restore natural dynamics in the mouth of the river and protect it from interferences like occupation by houses and early warning systems for flooding associated with rain.
3. Research on the coastal dynamics of sediment transport
4. Study the viability of constructing artificial reefs parallel to the coast for potential reduction of wave action on the beach.
5. Beach nourishment using sediments from the sea
6. Early warning system implementation for the prevention of sea floods during hurricanes or river flooding in the raining season
7. Propose a security insurance strategy to the government for flooding damages from sea or river
8. Construction of a marine dike (of about one meter high) at the Santa Marta Boulevard that can be combined with the actual landscape.

Taganga

1. Construction of a fishermen dock to guarantee productivity of the fishery industry.
2. Implementation of a retreat measure for commerce and people located near the beach.

Rodadero

1. Gaira's river management plan: retreat of people, restore natural dynamics in the mouth of the river and protect it from interferences like occupation by houses, warning system for flooding associated with rain.
2. Beach nourishment
3. Education and awareness plans with an emphasis on tourism
4. Construction of a dike as part of the landscape (like Santa Marta city)
5. Establish a maximum value for investment, elaboration of a cost/benefit analysis
6. Establish criteria for construction of hotels incorporating the variable of 1m SLR.

Tayrona Park

1. Elaboration of a management plan that underlines aspects like the influence of sewage contamination from Santa Marta city and the influence of some rivers in the protected zone.
2. Tourism action plan to prevent highly infrastructure settlement

Barranquilla and Ciénaga Grande de Santa Marta

This critical area corresponds to the delta area of the Magdalena's River. In the left side of the river the port of Barranquilla city is located, at the right side, a coastal lagoon complex is identified including the Ciénaga Grande de Santa Marta. This wetland area has been recognized as Biosphere Reserve and RAMSAR site.

For the site of the port the main measure would be protection and, restoration of natural process for the wetland side.

The strategies considered were:

1. Regulation measures on constructions on the left side of the Magdalena River: do not build in the river floodplain.
2. Develop of natural system integrated research studies with the goal of understanding natural processes between river, delta, wetland and sea.
3. Total water management plan for the Magdalena River, farm areas and Ciénaga Grande.
4. Increase the exchange of river water with the wetlands (Ciénaga Grande) by dredging existing canals.
5. Restore the natural hydrological balance of Ciénaga by reopening all former exchange channels between Ciénaga and the sea (e.g. by constructing a bridge or elevation of the highway between Ciénaga city and Barranquilla).

6. Elaboration of a harbour master plan in which moving the Barranquilla harbour outside the river might be a possibility. Constructing an artificial harbour island in the sea for big boats and limiting the entrance to the actual harbour only to small ones.

Cartagena

This city was identified as the most critical area in the Caribbean coastal zone due to its low altitude. The main measure identify were of small scale:

1. Retreat plan for the population settled on sites with high erosion, as in the zone named Boquilla.
2. Implementation of action of the development project that stated the protection of shores and roads.
3. Research on the coastal dynamics of sediment transport
4. Study the viability of constructing artificial reefs parallel to the coast for potential reduction of wave action on the beach.
5. Beach nourishment using sediments from the sea.
6. Remove the groins when suggested by calculations.
7. Construction of protection structures as walls at the north part of the industrial area of Mamonal and the Manga neighbourhood.
8. Construction of a dike (approximately 1 m high) over the boulevard of Boca Grande and Castillo Grande.
9. Establish a new regulatory measure for designing and construction of houses, infrastructure, roads, etc. taking into account the potential 1 m SLR: e.g. designing ground-floors of hotels in such a way that they can be flooded occasionally.
10. Adaptation of industrial harbour.

Morrosquillo Gulf

This area corresponds to the delta of the Sinú River. It is characterized by the presence of beautiful landscapes, wetland areas with high biodiversity, potential resources in the sea, enormous coastal erosion problems, large scale development plans for harbour construction (stretching for 20 km), tourism development.

The main responses strategies identified are:

1. A road protection against erosion between Tolú and Coveñas by the construction of a marine reef.
2. Local research studies on sediment dynamics.
3. Implementation of a drainage system for rain water at the urban area of Tolú.
4. Management plan for protection and restoration of river basins

5. Population retreat plan (especially for Tolú).
6. Restoration of the sediment dynamics of the Sinú River
7. Formulation of mangroves conservation plans.
8. Elaboration of a strategy for aquifers protection against salt intrusion.
9. Maintenance and construction of dikes
10. Formulation and implementation of a spatial planning and an ICZM proposal
11. Combine ecological and industrial development.
12. Establish a new regulatory measure for designing and construction of factories, houses, infrastructure, roads, etc. taking into account the potential 1 m SLR.

PROTECTION STRATEGIES ASSOCIATED COSTS

Once the strategies have been established there is a need to consider the cost of their accomplishment. A scenario without sea level rise is considered a situation without additional strategies; just the implementation of development plans would be over \$1.680.3 millions US dollars, equivalent to 2.2% of the Colombian GDP in 2001. The methodologies for estimating such values as well as those for additional measures are presented and described in the document.

The estimation of the development plans implementation values was done from information extracted from the POT and the areas' development plans. Costs are shown at year 2001 prices. Secondary information was used as well to determine the value of the additional measures; such values were extracted from information from national institutions and from international average values of construction. For year 2001, the implementation of additional measures would add 440.6 millions US dollars. The methodology for accomplishing such figures is fully explained in the document. Reallocation figures were calculated from the value of houses from social benefit. Adaptation figures only consider the adaptation of roads to sea level rise impacts. Beach nourishment figures were extracted from projects of beach creation in Cartagena during 1998. Other sources of information were obtained from personal communications with civil engineers and values of similar projects developed in other countries. The figure for research investment was calculated from the National Environmental Coastal Zones Management Policy.

As a conclusion, the total protection strategy, adding management plans and additional measures to address a 1 m sea level rise, would require a 3% of the national GDP for year 2001. These results, gathered together in previous steps were very relevant to address the vulnerability of Colombian coastal zones to sea level rise in the following step.

Introducción

Las respuestas humanas ante los posibles cambios que podría experimentar el sistema natural ante el eventual ascenso del nivel del mar, pueden ser definidas de forma hipotética o con base en fenómenos ya ocurridos. Tal es el caso de la subsidencia repentina causada por terremotos en áreas como el Pacífico colombiano (1906, 1970 y 1979), equivalente a un aumento súbito del nivel del mar, que produjo como respuesta la reubicación de la población asentada en áreas de alto riesgo tsunamigénico, el incentivo hacia el desarrollo urbano en el sector continental, la adecuación de terrenos para protegerlos de la inundación y el desarrollo de planes de evacuación y prevención de desastres ante la amenaza de tsunamis e incrementos extremos del nivel del mar (CCCCP, 1998a).

Durante los últimos años se han hecho numerosos intentos para predecir las respuestas humanas ante los cambios esperados del aumento en ANM, especialmente en aquellos países que se verán fuertemente afectados, como Holanda, Egipto, Bangladesh y muchas islas oceánicas. También se ha generado mucha discusión ante la subsidencia presentada en Venecia y Bangkok (IPCC, 1994; Bird, 1993).

El informe No. 4, donde se evalúan los impactos, efectos y respuestas del sistema natural, muestra la dificultad de predecir hasta donde se extenderán los cambios de los ambientes costeros como resultado del aumento en el nivel del mar ANM. Existen amplios rangos de error en la predicción de la extensión que acompaña fenómenos de erosión y acresión, al igual que los resultados en extensiones de tierra ganada y pérdida y aunque existen numerosos estudios en el ámbito global que han modelado los cambios en playas, manglares, dunas, costas rocosas y otros sistemas, este tipo de análisis es aún muy incipiente en nuestras costas.

Las diferentes formas en que los hombres han respondido a los cambios en las costas subsidentes alrededor del mundo han variado en relación con los factores sociales, políticos, económicos y de desarrollo de las regiones. Un ascenso del nivel del mar en términos globales produce tres tipos de respuesta (IPCC, 1992; IPCC, 1994):

1. Evacuación y abandono de los terrenos a medida que estos subsiden y erodan.
2. Conservación de la línea de costa y el margen costero mediante obras de ingeniería.
3. Modificación de las condiciones para permitir la reclamación de las áreas intermareales y áreas cercanas.

Es presumible que las sociedades que tengan la tecnología, organización y recursos suficientes para construir estructuras de protección y medidas de reclamación de terrenos, seguirán el ejemplo de países como Holanda y Japón; otras deberán abandonar las áreas inundadas y adaptar sus actividades y economías en concordancia con los cambiantes ambientes costeros.

Las posibles respuestas que Colombia tendría que asumir ante este progresivo fenómeno, se explican a lo largo del presente informe. Sin embargo, para la realización de estos supuestos, fue necesario hacer una identificación de las regiones y localidades más sensibles ante dichos cambios. Con este fin se realizó una “matriz de áreas críticas”, en la que se analizaron y

otorgaron rangos a las características bióticas, físicas, socioeconómicas, gobernabilidad y vulnerabilidad a desastres naturales a nivel de municipal dentro del área de estudio.

El presente informe busca de forma general, plantear algunas estrategias de respuesta analizadas para los sitios más susceptibles sobre la costa colombiana ante los efectos esperados del aumento en el nivel del mar. Este análisis debe ser considerado como un ejercicio académico de la metodología IPCC, para identificar las fortalezas y debilidades del manejo actual y futuro de nuestras costas. Las medidas necesarias para la protección y adaptación de las costas, al igual que la reubicación de la población en riesgo, deben ser adoptadas en el futuro mediante estudios más detallados y específicos, teniendo como base experiencias anteriores y la debida socialización de dichas medidas. De igual forma dichos estudios deben incorporar dentro de sus análisis los demás impactos causados por el cambio climático global, como cambios en la temperatura e incidencia sobre fenómenos de mal tiempo al igual que la intensificación de los efectos causados por fenómenos como el ENOS.

Es importante mencionar que en el proceso de análisis y selección de las posibles estrategias se tuvo en cuenta la dinámica de los sistemas, los ecosistemas presentes y el desarrollo de cada uno de las áreas propuestas a proteger, así como la intensidad de la inundación que se presentará en cada una de las áreas identificadas como críticas. Entre otras, algunas de las características y hechos que se consideraron en la elección de las áreas críticas y su protección incluyen:

1. Las estrategias para la protección/defensa costera deben ser sistemas sostenibles y acordes a las dinámicas costeras y estuarinas.
2. Son sistemas que deben de estar basados en el entendimiento de los procesos naturales costeros, las corrientes, sedimentación, erosión, entre otros. Dichos procesos no deberían ser interrumpidos salvo en circunstancias en las cuales, vidas, infraestructura importante o valores de conservación estén en riesgo.
3. En el proceso de selección de estrategias es necesario considerar el grado/tasa de erosión, así como la energía de las olas en el área afectada.
4. Es muy importante tener en mente el objetivo para lo cual se va a desarrollar una estrategia de protección o defensa costera y no analizar únicamente el impacto que se aminoraría con su presencia sino también los posibles impactos sobre el medio ambiente, las poblaciones y el desarrollo de la misma que pueda ocasionar su construcción.
5. En general debería permitirse el curso natural de procesos naturales, sin embargo, esto ocasionaría muchas pérdidas en áreas metropolitanas o de gran importancia económica. Así pues, en lo posible se debería permitir que los procesos continuaran en tierras de bajo valor, aunque esto incluya que casas o tierras individuales se pierdan.
6. En los sistemas dominados por las mareas, los niveles de energía son considerablemente bajos por lo cual no suelen ser necesarias las defensas a gran escala. Sin embargo, suelen presentarse problemas de erosión que deben resolverse o plantearse estrategias para su tratamiento según los usos que se le dé a las tierras adyacentes.
7. Los sistemas dominados por las olas deben ser tratados con estructuras cuya pendiente se acentúe gradualmente y en un espacio considerable, no con estructuras de gran pendiente en corta distancia.

8. Las estructuras duras no suelen ser construidas sino hasta que son necesarias. Idealmente serían construidas para evitar el riesgo de inundación; con la información que se tiene hasta el momento el verdadero efecto del cambio climático sobre el nivel del mar localmente no es muy certero es importante anticiparse y monitorear las zonas costeras para aplicar la estrategia apropiada e invertir en investigación.

Acciones planeadas ante el ascenso del nivel del mar.

Generalidades

Asumiendo el ascenso del nivel del mar como un hecho plausible, Colombia necesita comenzar a adaptarse. Esta adaptación incluye tomar medidas apropiadas para reducir futuros impactos del cambio climático global. Dentro las acciones planeadas ante el ascenso del nivel del mar usualmente se presentan tres acciones genéricas (IPCC CZMS, 1990).

- Evacuación (Planeada)– se permite la ocurrencia de todos los impactos sobre el sistema natural y los impactos sobre la población humana son minimizados mediante la evacuación de las costas.

- Acomodación – se permite la ocurrencia de todos los impactos sobre el sistema natural y los impactos sobre la población humana son minimizados mediante la adaptación del uso de la zona costera.

- Protección – Los efectos sobre el sistema natural son controlados mediante ingeniería liviana o grandes estructuras duras de protección reduciendo los impactos sobre la población humana en aquellas áreas donde se vería afectada sin protección.

En la práctica será una combinación de todas estas medidas las que deberán ser evaluadas en detalle y en casos particulares, consultadas con los tomadores de decisiones, socializadas con la comunidad para que puedan ser finalmente implementadas.

Evacuación

Las pérdidas de terrenos costeros han ocurrido como resultado del repliegue de costas, erosión de playas y retroceso de deltas y planos costeros. Fuera de las áreas urbanas e industriales, puertos, y demás áreas donde algunas estructuras de protección han sido construidas para detener la erosión costera, la respuesta del hombre ha sido abandonar las estructuras amenazadas. Inclusive en áreas donde se han hecho algunas inversiones, el abandono, puede llegar a ser la estrategia más económica si el costo de proteger la línea costera excede el valor de las estructuras amenazadas. Pocos son los edificios, carreteras y puentes construidos para servir durante períodos de más de 50 años sin una renovación substancial, siendo el costo de su mantenimiento, una variable en consideración al relacionar el gasto de mantenimiento del terreno sobre las cuales se encuentran (Bird, 1993).

La erosión y la subsidencia de las playas a medida que el nivel del mar aumenta, será el mayor problema en aquellas áreas donde se han desarrollado una importante estructura hotelera. En aquellas costas bajas, incluyendo deltas, planos aluviales y planos arenosos, barreras e islas



barrera, la subsidencia debido al aumento del nivel del mar, vendrá acompañada de la erosión generalizada de la línea de costa, que puede ir desde unos metros hasta varios kilómetros. En algunos deltas, donde el aporte de sedimentos se ha visto reducido por la construcción de represas, este retroceso será aún mayor (Bird, 1993).

Existen varios ejemplos de evidencia de retroceso en terrenos planos, donde la costa se ha erosionado rápidamente. En aquellas áreas donde se presentan estanques para pesca y las obras no son de alta ingeniería el retroceso y adaptación serán la estrategia adecuada. Sin embargo, en aquellas áreas donde los cultivos, como los de arroz, son la actividad principal, el ANM producirá una salinización de los terrenos, que obligará a los cultivadores a buscar nuevas áreas adecuadas para el continuo desarrollo de esta actividad (Bird, 1993).

Adaptación

La adaptación es entendida por la United Nations Framework Convention on Climate Change – UNFCCC, como todos los cambios en el sistema socioeconómico designados para reducir la vulnerabilidad al cambio climático (Burt, 2001). Una definición un poco más formal es encontrada en el documento técnico del IPCC (1996)

Adaptación se refiere a todos los ajustes en los sistemas ecológicos, sociales o económicos en respuesta a los impactos y efectos del cambio climático actual o esperado. De igual forma hace referencia a los cambios en los procesos, prácticas y estructuras para moderar los posibles cambios o beneficiarse de las oportunidades asociadas al cambio climático (IPCC, 1996).

La adaptación al cambio climático siempre ha sido parte esencial de la evolución y permanencia tanto de los sistemas naturales como humanos. En todas las regiones el patrón y diseño de los asentamientos humanos y su infraestructura, las prácticas agrícolas y la selección de cultivos y otro gran número de actividades, se han adaptado exitosamente al clima cambiante. Tanto en los sistemas naturales como socioeconómicos existe un conocimiento tanto teórico como práctico de sortear las condiciones medioambientales y climáticas cambiantes y extremas, si embargo, es el hecho de adaptarse más rápidamente lo que constituye el verdadero problema.

La adaptación puede reducir los impactos del cambio climático tanto en países desarrollados como en aquellos en vía de desarrollo, siendo esta capacidad mucho mayor en el primer grupo de países. Esta circunstancia se explica por que las estrategias de adaptación pueden ser mejor asumidas por los fuertes sectores industriales de este grupo. De igual forma, los costos de las estrategias pueden ser bajos en comparación con las riquezas y bienestar social, aunque este hecho solo dependerá de la magnitud y de la tasa de cambio, la cual hoy en día, es todavía muy incierta. Por último se espera que la habilidad de adaptación de los países desarrollados, sea hecha en forma lenta y progresiva, ya que en términos generales no se esperan cambios súbitos o eventos dramáticos, como cambios en la circulación oceánica; La probabilidad de ocurrencia de este tipo de fenómenos es baja, sin embargo, sus resultados serían catastróficos.

Este panorama obliga a pensar que los países en vía de desarrollo, como es el caso colombiano, no puedan implementar las medidas de adaptación necesarias sin la ayuda internacional o con acciones concertadas entre diferentes países. Es bien entendido, además, que las acciones nacionales pueden tener repercusiones internacionales; un claro ejemplo, son las adaptaciones planeadas sobre las condiciones hidrológicas de una cuenca que es compartida con países limítrofes y cuyo manejo afecta toda la región.

La capacidad de adaptación de los países más pobres y más vulnerables a los efectos del cambio climático puede ser considerada como baja debido a la falta de recursos financieros, un menor acceso a la tecnología, a una capacidad científica, institucional. y tecnológica reducida. La incertidumbre acerca de las respuestas de los sistemas naturales y las pérdidas potenciales en biodiversidad, se suma al impedimento de desarrollar estrategias adaptativas en estos ambientes.

Protección

Las estrategias de protección pueden dividirse en aquellas que involucran trabajos de ingeniería pesada y que conllevan a inversiones a mediana y gran escala y por otro lado las estrategias que no involucran la construcción de grandes estructuras sobre la línea de costa o los deltas (UACHL, 2001). En este informe se hará una breve descripción de algunas de las estructuras utilizadas a nivel mundial, y se hace énfasis en aquellas que han sido utilizadas en las costas colombianas hasta el momento.

Dentro de las estructuras de ingeniería pesada se incluyen: paredes, diques, muros de contención, barreras, canalización y reorientación de ríos, recubrimientos, rompeolas exteriores, espolones, creación de islas, bahías y playas artificiales y cualquier construcción que cambie los regímenes hidráulicos entre otras. Dentro de las estrategias consideradas como de ingeniería leve se incluyen: la reclamación de tierras, el drenaje del suelo, el relleno de playas, el traspaso de arena, aumento de las tasas de sedimentación, fortalecimiento de las bases, algunos arrecifes artificiales, la zonificación, y aquellas estrategias relacionadas con el manejo de comunidades, instituciones, entre otras (French, 1995; Carter, 1997 y Newman et al. 2001).

Todas estas estrategias fueron analizadas y consideradas, sin embargo, en este documento sólo se relacionan y describen aquellas que podrían ser implementadas con más factibilidad en las áreas críticas de las costas colombianas

DISEÑO DE PAREDES DE PROTECCIÓN

Son estructuras verticales, sólidas, construidas paralelas a la línea de costa y que separan la tierra y el mar; tradicionalmente han sido el método más usado para proteger de la inundación y erosión y otros daños causados por acción de las olas. Existen barreras de muchos tipos y materiales entre las que destacan: verticales, curvas, curvas y empinadas, muros de contención, con recubrimiento, lisos, rugosos.

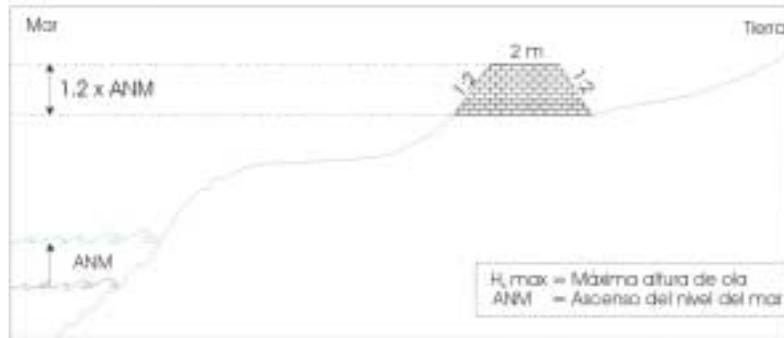
Según Carter (1995) y French (1997) entre las ventajas de estas construcciones se destacan:

1. Uso global para proteger las zonas costeras de la erosión e inundación.
2. Aunque los estudios de construcción iniciales y la inversión de construcción es elevada, los costos de mantenimiento, no suelen ser excesivos.
3. Son estructuras eficientes que protegen áreas de gran valor económico de la energía de las olas y de la inundación.

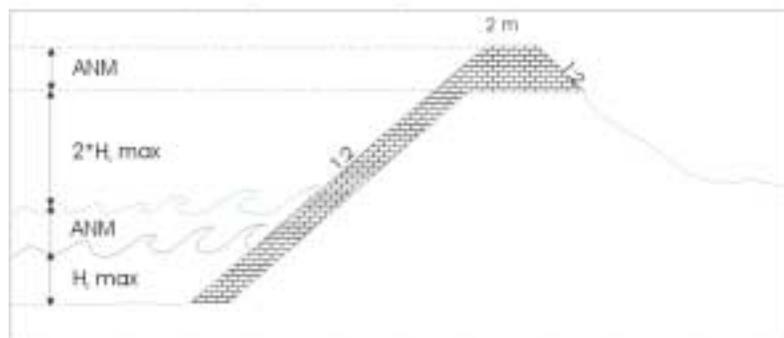
Entre sus desventajas se destacan

1. Necesitan mantenimiento al menos cada diez años, pero su vida útil depende del área en que estén ubicadas
2. Su vida útil ha sido muchas veces sobrestimada

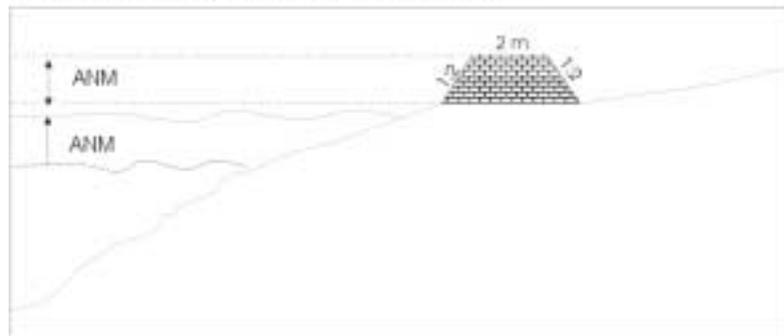
Diseños de paredes de protección



(a) estructura de bajo costo para una costa expuesta al oleaje



(b) estructura de alto costo para una costa expuesta al oleaje



(c) estructura para una costa protegida

Figura 1. Diseños de paredes de protección. (Tomado de Nicholls et al., 1995)

3. Pueden reflejar la ola y originar olas estacionarias que afectan las dinámicas costeras naturales
4. El lavado (escurrimiento, drenaje), en zonas intermareales, puede afectar la base de la barrera y hacerla colapsar
5. Alteración de los niveles de las playas

El mayor impacto es que rompen con la interacción tierra-mar, ecosistemas que se desarrollan bajo influencia de los dos ambientes dejan de recibir sedimentos y aportes del mar. También puede darse un desequilibrio en los desplazamientos y reservas de sedimentos.

Siguiendo el modelo estadounidense, basado en 1:2 de pendiente y una berma de 2 metros, se presentan cuatro diseños de paredes simples, teniendo en cuenta el ambiente costero: estructuras de bajo y alto costo para costas expuestas al oleaje (BCEO y ACEO respectivamente), estructura para costas protegidas (CP) (Figura 1), y una modificación para costas protegidas con pendientes erosionables (CPPE) (Nicholls *et al.*, 1995)

En aquellas costas expuestas al oleaje, el tamaño de la pared requerido para proteger la costa depende del tamaño de la playa. Como fue ampliamente discutido en el Informe Técnico No. 41, todas las playas expuestas rodeadas por acantilados se verán expuestas a la erosión, pero la magnitud de dicho fenómeno es difícil de parametrizar en términos del diseño de las estructuras de protección. Por esta razón se consideraron dos casos extremos; el diseño de la estructura BCEO se asume en aquellos casos donde no hay erosión y el diseño de la estructura ACEO en aquellas áreas donde se espera una pérdida total de las playas. El comportamiento real de las playas, tenderá a estar entre estos puntos extremos y los costos de dichas estructuras, incluirán los costos reales. El diseño CP, tiene un menor costo que el diseño BCEO, por que en esta áreas las olas son limitadas o no constituyen una gran amenaza

Para las colinas, el diseño ACEO, es el más apropiado en adición a una berma de 20 m de ancho desde la punta de la colina hasta la base. Cualquier cavidad que resulte debajo de la plataforma, puede ser rellenado con materiales al mismo costo utilizado para el relleno de playas. Estos diseños incluyen únicamente la base, cualquier problema asociado a con la estabilidad de la pendiente, puede incrementar los costos considerablemente.

RELLENO DE PLAYAS

Una playa estable es en sí misma una forma de protección de la costa contra los embates del mar. El lecho que está compuesto de sedimento suelto ajusta su forma para producir una "defensa en profundidad" en época de tormentas y para proveer por su propia recuperación durante el período normal. Muchas de las playas de la región de Santa Marta, por ejemplo, están limitadas por formaciones resistentes a la erosión; en estos casos la forma de la playa tiende a ser moldeada por causas naturales durante un proceso que toma muchos años hasta cuando se alcanza el equilibrio entre los volúmenes medios de arena que entran y salen del área.

Bajo condiciones de equilibrio la playa es prácticamente estable, pero esa estabilidad es alterada a menudo por fenómenos de corto plazo como son las tormentas y los períodos de calma, y por la variación que ocurre año tras año de las tasas de suministro de sedimentos (Figura 2) (Hattersley y Foster, 1968).

El depósito de arena para incrementar el tamaño de la playa (generalmente a través del bombeo desde costa afuera) y de esta forma contrarrestar la acción erosiva, es comúnmente llamado relleno de playas.

¹ INVEMAR, 2001. *Netherlands Climate Change Studies Assistance Programme, Colombia: Definición de la Vulnerabilidad de los Sistemas Biogeofísicos y Socioeconómicos debido a un Cambio en el Nivel del Mar en la Zona Costera colombiana (Caribe y Pacífico)* medidas para su adaptación. Informe Técnico No. 4. Respuestas del Sistema Natural. Documento interno. Santa Marta. 64p. + anexos.

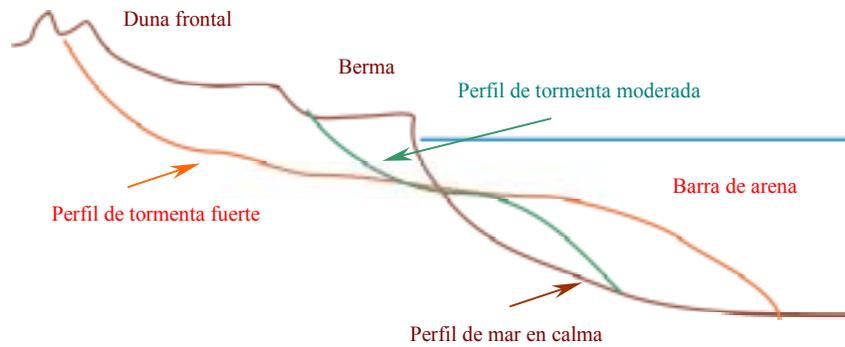


Figura 2. Perfiles de la costa asociados con movimientos de arena.

Todo el perfil dinámico de la playa debe ser modificado para contrarrestar totalmente los efectos de la erosión ante un aumento de un metro de ascenso del nivel del mar, siendo de consideración las cantidades de arena que deben ser transportadas. El volumen de arena que debe ser transportado, se determina usando el perfil alto y bajo de actividad del perfil definido previamente por el modelo de erosión, dando así un estimativo máximo y mínimo en términos de costo. A diferencia de la magnitud de recesión de la línea de costa, que depende de la tasa entre la longitud por el ancho de playa, la unidad de costo de relleno, depende exclusivamente del ancho activo del perfil. Se asume que el equilibrio se establece una vez el volumen de arena necesario es depositado en el perfil (Hattersley y Foster, 1968).

En general, existe poca experiencia a nivel nacional en el manejo del relleno de playas y por lo tanto, estimativos locales para esta actividad son difíciles de calcular. Un estimativo general para algunos trabajos realizados en algunos países está consignado en la Tabla 1.

Tabla 1. Estimativo de costo de relleno de playas para algunos países (1996).

País	Costos
Senegal	U.S. \$ 6/m ³
Nigeria	U.S. \$ 10/m ³
USA –South Carolina	U.S. \$ 5.3/m ³
USA - Ocean City	U.S. \$ 10.4/m ³
USA – New Jersey	U.S. \$ 5/m ³
Netherlands	U.S. \$ 7/m ³
Panamá- Ciudad de Panamá	U.S. \$ 4.7/m ³

La necesidad de proteger edificios, estructuras y propiedades contra la acción del mar se confunde a veces con la preservación de las playas. Debe reconocerse que un frente de playa debidamente conservado y utilizado asegura una protección máxima a las propiedades pero para que esta protección sea posible es necesario que dichas propiedades no estén localizadas en la zona móvil de la playa. La construcción de obras civiles en la costa produce cambios que afectan las tasas de suministro o de pérdida del transporte litoral y generan modificaciones en la línea costera hasta cuando se alcanza una nueva configuración estable. Debido a que estos cambios no se observan de inmediato porque se ocultan entre las fluctuaciones a corto plazo, siempre tomará un tiempo largo el poder demostrar que los cambios hechos por el hombre son nocivos para la costa (Hattersley y Foster, 1968).

Según French (1995) y Carter (1997), las playas son los sistemas más eficientes para disipar la energía de las olas y por ende la protección de la tierra. La idea de este sistema es aumentar artificialmente la cantidad de material en una playa que experimenta pérdida de sedimento. Generalmente, estos procesos se dan cuando la pérdida es consecuencia de la construcción de defensas costeras que llevan a la disminución de movimiento de sedimentos y como resultado a playas ávidas de sedimentos.

El relleno de playas es una técnica sencilla ya que el material se agrega a la playa desde una draga o con un camión. Lo importante no es la cantidad de sedimento que se agregue sino el perfil de la playa y el tamaño del grano de sedimento. La gran ventaja de este método es su sencillez y eficacia para la protección de la costa. Sin embargo, dentro de las desventajas que se deben tener en cuenta se incluyen:

1. Van en contravía de los procesos costeros, pueden haber consecuencias puesto que se agrega más material para erosión y no se está dejando que la erosión ocurra naturalmente.
2. Los efectos pueden darse durante la extracción y relleno de la playa o aquellos que son resultado del nuevo perfil de la playa
3. Los sedimentos deben ser agregados con agua lo que puede ocasionar erosión y eliminación de especies de las áreas intermareales y propios de la playa.
4. Los sedimentos más gruesos pueden alterar la dinámica del movimiento de los sedimentos y la ecología de las comunidades que habitan las zonas intermareales
5. El peso de la maquinaria puede ocasionar la compactación del sedimento evitando el flujo normal del agua con lo que aumenta la cantidad de sedimento a remover.
6. El sitio de donde proviene la arena puede estar actuando como una barrera de protección y al extraer materiales puede que se estén poniendo en riesgo otras áreas de la costa.
7. Es necesario considerar el estado de contaminación de la fuente de arena pues químicos y productos contaminados pueden ser lavados hacia las zonas intermareales ocasionando pérdidas ecológicas.
8. Un grano de arena no apropiado puede conllevar a una erosión más rápida o aun playa inmóvil, así que el sedimento que se deposite debe ser del mismo tamaño del sedimento local
9. La eliminación de ciertos tipos de sedimentos no de todos puede causar daños en otros sistemas, como por ejemplo el grano fino sobre las dunas.

OBRAS EN LOS DELTAS Y ESTUARIOS

Muchos de los problemas en las zonas bajas de los ríos están relacionados con sus corrientes. Un cambio en los regímenes hidráulicos de los estuarios utilizando muchos de los métodos acá descritos, podría en teoría modificar la hidrodinámica de los estuarios y evitar inundaciones. A través de barreras, presas o vertederos, bancos sumergidos, rompeolas artificiales, promontorios e islas artificiales, apertura de canales, etcétera. Sin embargo, no se conoce que haya sido aplicado a gran escala aún. Es un proyecto a gran escala y habría que considerar todas las ventajas y desventajas de cada una de las estrategias utilizadas y los pros y contras de su uso combinado.

Suelen ser barreras físicas entre los dos medios y en condiciones de cambio del nivel del mar los ecosistemas que migrarían naturalmente para acomodarse a las nuevas condiciones no lo podrían hacer. Sin embargo, además de brindar protección son utilizadas con otros fines y el flujo de agua se puede controlar, dependiendo del tipo de manejo que se establezca. Por otro lado, visualmente son las estructuras de protección más ajenas al sistema. Tiene impactos muy graves en los sistemas estuarinos, tanto en sus corrientes, como en la entrada y salida de agua y las comunidades que los habitan y suelen alterar los patrones de sedimentación.

ACRECIÓN

Esta estrategia es utilizada en áreas con baja energía, y facilita la creación de humedales y otras plantaciones. Dentro de las ventajas y desventajas se destacan:

- Aunque implica la intervención del hombre en el sistema, es una forma natural de controlar el problema de erosión.
- Ha sido utilizado satisfactoriamente en procesos de estabilización de tierras
- La introducción de especies puede llevar a la desaparición o sucesión de especies locales por otras más agresivas y de crecimiento más rápido
- Sin una estrategia de monitoreo adecuado, la solución se puede convertir en un problema pues las especies que se usan usualmente para estos fines pueden expandirse y alcanzar extensiones desproporcionadas e inmanejables.
- Pueden ocasionar problemas serios de intereses entre habitantes y las diferentes actividades que se hacen en el área, los usos de un área pueden variar y la estética también.

RECUBRIMIENTOS Y REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS EXISTENTES

Los recubrimientos son capas de materiales de diversas formas que se colocan en una pendiente de la costa o sobre estructuras de protección con el fin de aminorar la energía de las olas y proteger las estructuras y la pendiente. Parte de la toma de decisión debe incluir el estudio de la eficiencia de las estructuras que ya existen o la necesidad de utilizar otras estrategias o construir estructuras nuevas.

Los recubrimientos no suelen intervenir con el transporte de la deriva litoral, no re- dirige la energía de las olas y permiten el paso de agua a través de revestimiento. Sin embargo, por otro lado, las playas en frente de recubrimientos muy empinados pueden erosionarse y la pendiente erosionada y que se está protegiendo podría ser fuente de sedimentos para otras áreas costeras.

Al reforzar las estructuras existentes, la mayor ventaja es que ya se conoce como funciona la dinámica del área y la baja inversión que se tiene que hacer con estas estrategias. Generalmente cuando se aplica el reforzamiento de estructuras existentes es porque se ha comprobado la eficacia de las mismas.

CREACIÓN DE ECOSISTEMAS ARTIFICIALES

Dentro de este grupo se podrían agrupar la creación de islas, bahías, playas y arrecifes artificiales, que aunque sus usos y escalas de estructura son diferentes, tienen en común que son construidas por el hombre y que como tal tienen una influencia directa en los ecosistemas y los procesos de las zonas costeras



Las bahías naturales proporcionan protección de dos formas diferentes: atrapando sedimento y formando playas y, segundo alargan la línea de costa sin aumentar la energía de la ola. Alterando estructuras con rocas duras y blandas, se pueden formar bahías artificiales. Las rocas blandas son las que se erosionan y van dando forma a la bahía.

La desventaja es que las bahías naturales están asociadas con la batimetría del área que influye en los patrones de oleaje. Las bahías artificiales no tienen dicha batimetría así que pueden ser más inestables.

Por otro lado, la construcción de playas artificiales se puede realizar con una barrera de arena en frente de un área costera con gran pendiente. La playa puede ser construida capturando sedimentos o importándolos de otras partes; estos ecosistemas son usados para el control de la erosión y en muchas áreas permiten el desarrollo de la recreación y el sector turístico. Sin embargo, los sedimentos atrapados pueden ser fuente regular de otras playas, se podría estar fomentando la erosión de otras playas.

Los arrecifes artificiales han sido ampliamente distribuidos en el mundo con diferentes fines, tanto recreacionales como de producción pesquera y para disminuir la energía de las olas que llegan a la costa. Los hay de muchos tipos, desde neumáticos, bolsas de arena, hasta grandes plataformas y buques hundidos. Es importante tener en cuenta el objetivo de su construcción, en este estudio, se proponen las bolsas de arena como estrategia para disminuir la energía de las olas que chocan contra las playas.

TUBOS DE GEOTEXTIL

En años recientes ha habido un gran auge por el uso de tubos hechos de geotextil, debido a la gran aceptación y éxito obtenido. Muchos proyectos han definido esta tecnología como un método viable, práctico y económico. Esta técnica ha sido utilizada en algunas regiones de Colombia, como Santa Marta, Cartagena y Buenaventura (Figura 3).



Figura 3. Llenado de un geotubo, con un corte transversal esquemático.

Estrategias usadas en Colombia

Algunas aplicaciones de las estrategias de protección explicadas anteriormente que han sido usadas sobre algunos sectores de las costas colombianas son mencionadas a continuación de forma general.

Reubicación

Un caso particular para la región del Pacífico colombiano donde se presentó, esta estrategia como la más adecuada, hace referencia a la población de El Choncho, localizada antes de su abandono definitivo en una de las seis barreras que conforman la línea de costa actual del delta del río San Juan. Como muchas otras Islas barreras del Litoral Pacífico colombiano, La isla El Choncho sufrió entre 1998 y 1999 cambios importantes en sus dimensiones, específicamente en su longitud y anchura. La Isla creció varios kilómetros en sus extremos norte y sur, pero se adelgazó más de 200 m a lo largo de sus km centrales, justo en la franja ocupada por el poblado y por la mayoría de sus mejores terrenos cultivables; las pérdidas de terrenos a lo largo de este sector determinaron, la ruptura de la isla en dos.

La tendencia erosional generalizada (15 m/año) se intensificó fuertemente a partir del terremoto del 19 de noviembre de 1991. En la fase inicial del sobrelavado, el agosto 7 de 1997, el interior de la Isla se inundó solo parcialmente debido a la precolación del agua en las arenas no saturadas y evitó que las rompientes de las olas sobrepasaran los puntos más altos de la playa y penetraran a las zonas internas de la isla. Sin embargo, unos veinte o treinta minutos más tarde, las arenas de las playas y del interior de la Isla alcanzaron el estado de saturación y el ascenso del nivel freático a la superficie hizo posible la formulación de una columna permanente de agua que inundó totalmente el sector. En estas condiciones, las rompientes de las olas migraron a tierra, destruyeron una empalizada de madera (única medida de defensa contra la erosión marina) e impactaron directamente sobre las viviendas de El Choncho. En última instancia, este evento de sobrelavado arrasó gran parte de las viviendas y obligó a su abandono y reubicación de la población en terrenos interiores del Delta (Correa *et al.*, 2001).

La necesidad de reubicarse se hizo evidente para los residentes de El Choncho desde las evidencias de amenaza creciente que se venían presentando desde 1996. El abandono definitivo de El Choncho fue antecedido por varias reubicaciones de viviendas hacia el interior de la Isla, a medida que la erosión marina arrasaba progresivamente el frente del poblado. Durante el periodo comprendido entre junio de 1996 a febrero de 1998, los habitantes de las casas destruidas en el sector norte, levantaron habitáculos mínimos o fueron alojados solidariamente en viviendas ubicadas más hacia el sur. (Correa *et al.*, 2001).

Hasta finales de 1997, se plantearon tres opciones para la reubicación del pueblo, dos de ellas siguiendo la tradición de permanecer sobre la misma Isla; la tercera, menos acogida en el momento pero adoptada al final, consideraba la relocalización en terrenos internos del Delta. La primera opción optaba por la reubicación cerca del extremo norte de la Isla y fue descartada por no tener este sector acceso en bote durante mareas bajas, ser anegable por las lluvias y tener la influencia de poblaciones de insectos vectores de enfermedades; la segunda y



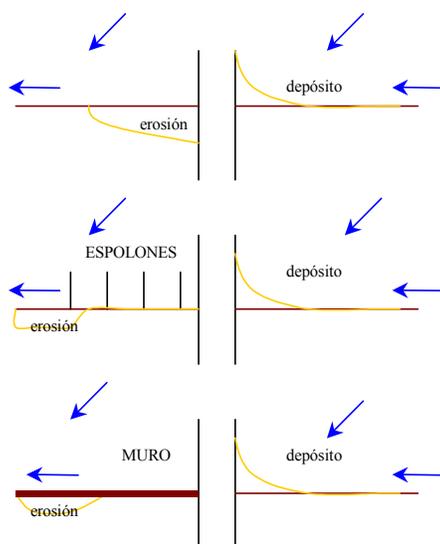
mejor acogida de todas, optó por construir el nuevo poblado sobre terrenos ubicados a 1.5 km hacia el sector central de la Isla, a lo largo de una franja de playas no afectadas aún por la erosión (Correa *et al.*, 2001).

El descarte definitivo de esta última opción, a favor de la reubicación al interior del Delta, se dio en febrero de 1998 a raíz de una serie de sobrelavados e inundaciones que recordaron los eventos de mayo-agosto de 1997. Este último hecho motivó la consideración de migración hacia el sur, a una reubicación de 1.5 km del sitio, sin embargo, esto no ofrecería garantías de permanencia por más de 10 años, a partir de los cuales se estaría muy probablemente ante la necesidad de una nueva reubicación. Alcanzado el consenso general, se optó por abandonar la Isla y construir el nuevo El Choncho (San José del Choncho) sobre un sector arenoso, ubicado hacia el estero de Santa Bárbara. Estos terrenos ofrecen el sitio más cercano al mar con acceso durante todos los estados de marea y algunas posibilidades de agricultura de subsistencia, particularmente de plátano y yuca. El abandono definitivo de las últimas casas habitadas de El Choncho, se dio a finales de febrero de 1998. La ayuda gubernamental consistió en la donación de algunos materiales de construcción; el trabajo de levantamiento de las nuevas viviendas fue enteramente asumido por los residentes (Correa *et al.*, 2001).

Protección.

SECTOR GOLFO DE MORROSKILLO.

Como se mencionó en el Informe Técnico No. 4, uno de los grandes problemas que afronta el sector del golfo de Morrosquillo es la inminente pérdida de las playas por procesos erosivos. Aunque algunos estudios tendientes a su recuperación han sido realizados, las medidas adoptadas no han logrado los resultados deseados (Barreto, 1999).



La construcción de espolones ha sido la principal estrategia adoptada en el área para la detención de la erosión; sin embargo estos no han producido una activación significativa de playa (Figura 4). Los espolones tienen el efecto de retardar la erosión pero no pueden detenerla completamente. El muro puede eliminar la erosión aun cuando se presenta una socavación del fondo del mar inmediatamente frente a él. Aguas abajo de un sistema de espolones o de un muro ocurre una erosión bastante grande porque se reduce el suministro de arena que provenía de la costa protegida (Reinalda, 1997).

La construcción de espolones en forma de T, ha sido considerada como una segunda alternativa debido a que por efecto de difracción de las olas, impide que los sedimentos atrapados en cada alvéolo sean llevados hacia mar adentro por las corrientes de compensación, favoreciendo el atrapamiento de arena (Barreto, 1999).

Figura 4. Efecto de las estructuras sobre la línea de costa

Evidencias de estos efectos pueden ser observados desde la playa de la Piragua (aproximadamente a 2 km al norte de Tolú) hasta la entrada del municipio, donde se cuentan 35 espolones, de longitud variable hasta 3 m, y separación entre 50 y 100 m (Figura 5). Al parecer, estos espolones

han sido construidos por los propietarios de las cabañas, por lo cual se han utilizado diferentes materiales y técnicas para su construcción. La falta de actualización de los estudios sobre la

distribución de sedimentos, no ha permitido que estas estructuras contribuyan eficazmente a la creación de playas. En términos generales, se observa que en los tramos de costa donde los espolones se encuentran más juntos, se produce sedimentación en sus extremos, en tanto que cuando están más espaciados la erosión se concentra y forma líneas de costa cóncavas cuyos límites están formados por los espolones extremos (Barreto 1999).



Figura 5. Espolones de la población de Coveñas.

Los espolones colocados sin ningún estudio previo tanto al sur de Manzanillo como al norte del Caño, han generado playas incipientes en su sector noreste, pero ha intensificado en la zona suroeste, el retroceso de la costa debido a la falta de sedimentos y a procesos de refracción del oleaje (Carvajal, 1992). De igual forma, la masiva construcción de espolones contruidos con bolsas de concreto, en sectores como el de San Bernardo del Viento, han incrementado la erosión en forma paulatina y no han generado ninguna sedimentación. Según comunicación verbal de los pobladores, la tasa de erosión promedio en este sector es de 1 ha/20 años, en tanto que en otros meandros erosivos se ha controlado la erosión mediante muros de contención contruidos por propietarios de las fincas aledañas (Barreto, 1999).

El inminente retroceso de la línea de costa en el sector del Volcán de Arboletes, un lugar turístico de gran interés en el área, ha generado la movilización de los pobladores de la región para la búsqueda de estrategias más efectivas que el actual muro de bolsas de cemento que hoy en día lo protegen, como se observa en la Figura 6.



Figura 6. Muro de contención y escaleras que conducen al Volcán de Arboletes

En términos generales, se ha observado que una medida más efectiva para proteger las playas aguas abajo es abastecerla de arena. Como esta arena es removida continuamente por olas y corrientes se hace necesario que el suministro sea permanente y continuo. La mejor fuente de arena está en la costa situada aguas arriba donde existe acumulación de arena; de esta manera la transferencia de sedimentos desde aguas arriba hacia aguas abajo restaura el movimiento original de los sedimentos a lo largo de la costa y los problemas de sedimentación y erosión podrían quedar resueltos (Reinalda, 1997).

SECTOR CARTAGENA

Una de las mayores obras de ingeniería realizadas en el sector de Cartagena en los últimos años, consistió en el dragado de canal de acceso al sector de la isla de Manzanillo a 14 m de profundidad donde se localiza la escuela “Naval Almirante Padilla”. La composición del material dragado consistía en caracolejo y roca coralina pétreo, lo cual permitió su utilización para la recuperación y adecuación de una franja de litoral que amenazaba en el futuro con la destrucción de obras civiles e infraestructuras históricas de patrimonio nacional que se encontraban en peligro de deterioro ante una evidente avance erosivo de la línea de costa. (Herrera, 1998).

Las obras que comenzaron el 18 de mayo de 1998 y finalizaron el 04 octubre de 1998 movilizaron un acumulado dragado de 210.549 m³. Parte de este material fue utilizado para construir un enrocado consistente en la depositación de 1571,54 m³ rocas provenientes de una Cantera en Turbaná al costado oeste de la isla de Bocachica tendientes a proteger el Fuerte San José y que cubren una longitud total de 262 m con 5 m de ancho. Este material fue controlado por medio de un espolón hecho de llantas y recubierto con geotextil con el fin de que el material de arenas medias, no se extendiera más allá de los límites proyectados. El Fuerte San Fernando por su parte, utilizó una base geotextil como base protectora del lecho marino con un volumen de 1180,64 m³ de enrocado total (Herrera, 1998).

El material de dragado restante, fue depositado y nivelado para recuperar dos y media (2.5) hectáreas de playa frente a La escuela Naval “Almirante Padilla” que se calcularon en un valor comercial de \$ 7.500'000.000.00 (\$300.000 m²). Por otro lado, la recuperación de 0.5 hectáreas para la protección del monumento histórico del Fuerte Santa Cruz de Castillo Grande y el Faro, se calculó un valor de \$3.000'000.000.00, (\$600.000 m²) (Herrera, 1998).

SECTOR BUENAVENTURA

Una de las primeras aplicaciones de geotubos en Colombia fue la construcción de islas para el confinamiento y sedimentación de arenas de grano fino provenientes del mantenimiento de dragados. El proyecto fue llevado a cabo en el estuario San Antonio, en las inmediaciones de Buenaventura. El área para la contención del material de dragado, fue la primera de dos islas ovales planeadas en este ambiente ribereño que involucra el llenado hidráulico de los geotubos con material arenoso (Figura 7) (Ellicott Technical Papers. 2001).

Los geotubos, fueron posicionados uniendo sus extremos, para proveer un dique que pudiera contener el material de dragado, bajo variaciones de marea de 4.0 m, dos veces al día. Después de que las islas ovaladas se completan, estas sirven como receptores de material, hasta que se llenan y se estabilizan. Una vez se estabilicen serán plantadas con árboles de manglar y otra vegetación nativa, con propósitos de conservación (Ellicott Technical Papers. 2001).

El material de dragado se localiza a 8 km mar adentro de la costa Pacífica, adyacente a un canal navegable de 10 m de profundidad que sirve la parte sur de la isla de Buenaventura (Ellicott Technical Papers. 2001).

El desarrollo del nuevo puerto ha generado la necesidad de profundizar los canales de acceso mediante dragados, necesiéndose nuevas áreas para la disposición de estos sedimentos. Las áreas de disposición actual, se encuentran al tope de su capacidad o se han deteriorado, debido a la falta de un mantenimiento adecuado (Ellicott Technical Papers. 2001).



Figura 7. Esquema de la isla formada del material de dragado contenida por el geotubo

El diseño oval de la Isla, con 1100 m de circunferencia, fue pensado de esta forma para minimizar la obstrucción de la corriente del río. La forma oval de las áreas están enmarcadas dentro de geotubos de 20 m de circunferencia y 3 m de alto, fabricados con fibra geotextil TC Mirafi GT5000 de polopropileno. A la altura de 3 m, los geotubos contiene cerca de 22 m³ por metro lineal de material de dragado (Ellicott Technical Papers. 2001).

Aunque el primer perímetro ya se encuentra construido y sirve actualmente como área de disposición de material, el plan total de construcción incluye llenar once geotubos de 100 m de largo, que son llenadas hidráulicamente, con arena dragada del canal de navegación (Ellicott Technical Papers. 2001).

Estrategias de adaptación

Las tres preguntas claves que surgen en el momento de analizar la adaptación son, el dónde el cómo y el cuándo de adaptarse. Si el conocimiento sobre el cambio climático fuera lo suficientemente preciso, un análisis costo-beneficio nos ayudaría a encontrar la respuesta a estas preguntas. Sin embargo, la gran incertidumbre acerca del clima futuro y muchos otros factores asociados, nos hacen hacer una evaluación en función de los riesgos (e incertidumbres) en vez de buscar por soluciones determinísticas (Nicholls y Klein, 2000).

En primera medida es importante considerar cuanto de la adaptación autónoma reducirá los impactos y por ende la necesidad de adaptarnos. Mientras el medio natural tenderá a adaptarse de forma autónoma ante los cambios, como lo ha hecho largo de su desarrollo, se sabe que la mayoría de las respuestas ante el cambio climático, necesitarán de acciones controladas. Estas acciones controladas deberán incluir políticas permisivas ante la extensiva adaptación autónoma del sistema natural (Nicholls y Klein, 2000).

La anticipación con que estas medidas de adaptación deben ser tomadas, dado que se esperan impactos adversos ante el ascenso del nivel del mar, es tema de grandes discusiones. La literatura distingue planes de adaptación anticipada y planes de adaptación reactivos, es decir, considerar aquellas acciones que deben ser implementadas hoy en día y aquellas que deben ser implementadas en el futuro (Smith, 1997; Smit et al., 1999 en Nicholls y Klein, 2000). Las decisiones anticipadas se toman con mayor incertidumbre que las decisiones reactivas que cuentan a su favor el conocimiento futuro. Sin embargo, sentarse y esperar a tomar decisiones del direccionamiento del desarrollo, como una mayor exposición de la infraestructura en planos inundables, puede traer consecuencias catastróficas.

El aumento del nivel del mar, puede traer consecuencias adversas y las acciones tomadas con anticipación puede reducir impactos potenciales de los originalmente esperados. La magnitud de los impactos iniciales y los residuales, es la verdadera clave para medir vulnerabilidad.

De acuerdo con la literatura, existen dos casos fundamentales en que las acciones anticipadas pueden ser justificadas (Smith, 1997):

- Hay beneficios netos independientemente del cambio climático.
- Decisiones prioritarias debido a impactos catastróficos y descisiones enmarcadas dentro de inversiones de largo plazo.
- Interacciones desfavorables entre el cambio climático y otras acciones que pueden ser previstas.

Dada la gran gama de decisiones que tendrán implicaciones en el futuro de la zona costera colombiana, esta área amerita la adopción de medidas anticipadas.



En este contexto, el análisis y la evaluación de las posibles estrategias de respuesta, que podría ser implementadas bajo los tres lineamientos establecidos por el IPCC (evacuación, adaptación y protección), son expuestos a continuación. Este análisis se hace bajo las dos proyecciones de ascenso del nivel del mar escogidas de 30 cm en el año 2030 y de 1 metro en el año 2100.

Identificación de las áreas críticas en Colombia

Con el propósito de identificar las áreas o puntos críticos debido a un aumento progresivo del nivel del mar en las zonas costeras colombianas, se generó una matriz que permite identificar el grado de importancia de los municipios encontrados en el área de estudio, mediante la selección de características relevantes, denominadas dentro de la matriz “elementos”, que pueden verse afectadas por el efecto de inundación.

Para lograr dicho objetivo, el primer paso fue elaborar una lista de chequeo en la que se listaron las características más relevantes del área de estudio que podrían verse afectadas o comprometidas de forma significativa por el efecto de la inundación. Los resultados obtenidos de la elaboración de la lista de chequeo se organizaron de acuerdo a los componentes ambientales: físico, biótico, socioeconómico y gobernabilidad. Además de permitir la identificación del tema de riesgos y amenazas como otro aspecto importante dentro del análisis, debido a su posible sinergia con el aumento del nivel del mar y su importancia en el ámbito de la planificación para la formulación de medidas de respuesta e implementación de sistemas de alerta a la población.

En la Tabla 2 se muestra el listado de elementos en consideración. Para el componente físico se determinó como elemento de mayor importancia el porcentaje de área de terreno inundado con relación al total del área de estudio, diferenciando las áreas urbanas de las rurales por las particularidades que cada una de ellas tiene en términos socioeconómicos (bienes y servicios).

Con referencia al componente socioeconómico, tres elementos importantes fueron seleccionados: la población afectada por el agente impactante (inundación), la producción del área de estudio determinada por el Producto Interno Bruto (PIB) por área y la infraestructura existente que puede verse en riesgo representada por viviendas, aeropuertos y áreas portuarias.

Los elementos de importancia seleccionados para el componente biótico fueron los ecosistemas marinos y costeros presentes en el área de estudio expresados en porcentaje de área.

En el caso de la gobernabilidad, la selección de elementos estuvo basada en la identificación de categorías asignadas a ciertas zonas del área de estudio como expresión de gobierno o administración: áreas del sistema de Parques Nacionales Naturales (SPNN), áreas protegidas en el marco de convenios internacionales (sitios Ramsar, Reservas de la Biosfera), distritos (turístico y cultural, industrial, histórico), patrimonio nacional, patrimonio de la humanidad, títulos colectivos otorgados a las comunidades afrocolombianas, resguardos indígenas y municipios con línea de costa como mecanismo de representación de la división político-administrativa.

Se incorporó, además, el tema de riesgos y amenazas a fenómenos naturales, destacándose la presencia y/o frecuencia de ocurrencia de los siguientes fenómenos: lluvias fuertes, tormentas tropicales, huracanes, mares de leva, amenazas sísmicas, diapiatismo de lodo,

Tsunamis, estabilidad de la línea de costa (erosión), fenómeno El Niño, intrusión salina e impacto generado por proyectos de desarrollo en operación.

Tabla 2 Lista de chequeo de elementos de caracterización del área de estudio del proyecto

COMPONENTE	ELEMENTOS	UNIDAD
Físico	Inundación urbana en área de estudio	%
	Inundación rural en área de estudio	%
Socioeconómico	Población afectada urbana	# personas
	Población afectada rural	# personas
	PIB Urbano afectado	\$/km ²
	PIB Total afectado	\$/km ²
	Viviendas urbanas	# viviendas
	Viviendas rurales	# viviendas
	Infraestructura: Aeropuerto	Tipo
Infraestructura: Puerto	Tipo	
Biótico	Z Bosque Seco Tropical	%
	Z Desierto Tropical	%
	Z Bosque Húmedo Tropical	%
	Arrecifes de coral	%
	Fanerógamas marinas	%
	Bosques de manglar	%
	Playas	%
Lagunas costeras y estuarios	%	
Gobernabilidad	Áreas del SPNN	# PNN
	Áreas protegidas en el marco convenios internacionales	# AP
	Distrito	# distritos
	Patrimonio Nacional	# sitios
	Patrimonio de la humanidad	# sitios
	Títulos colectivos	# títulos
	Resguardos	# resguardos
Municipios con línea de costa	Presencia	
Riesgos y amenazas	Lluvias fuertes	# eventos
	Tormentas tropicales	# tormentas
	Huracanes	# huracanes
	Mares de leva, marejadas y pujas	# eventos
	Desbordamiento de ríos, lagunas o ciénagas reportado	# eventos + F
	Amenaza sísmica	Tipo +F
	Diapirismo de lodo	# diapiros
	Tsunamis	# Tsunamis +F
	Estabilidad de línea de costa	Tipo erosión
	Impactos de proyectos de desarrollo	# proyectos
	El Niño	Región
Intrusión salina	Presencia	



El siguiente paso fue la selección de criterios. Para realizar dicha selección se analizaron del listado de elementos, buscando aquellos que fueran completos, que representara los objetivos del análisis, que fueran operativos, que la información fuera medible, estuviera disponible y fuera asequible y que no representara dobles conteos. Los criterios elegidos deberían ser representativos del objetivo principal el cual consistía en la búsqueda de las áreas potencialmente más afectadas por el ANM. Los elementos seleccionados a partir de la lista de chequeo fueron los siguientes:

- Porcentaje de inundación del municipio en área de estudio
- Población afectada urbana por un ANM de 0.30 y 1 m en el año 2030 y 2100 respectivamente.
- % Porcentaje de población urbana afectada (0.30 y 1 m de ANM)
- Infraestructura (Puerto y/o aeropuerto principal)
- Áreas de manejo especial (Áreas del Sistema de Parques Nacionales Naturales y áreas e protección bajo convenios internacionales).

Estos criterios incluyen los elementos más relevantes y sobre los cuales se considera estarán centrados los esfuerzos de protección.

A continuación se procedió a la construcción de la matriz de identificación de “áreas críticas”, por cada proyección de ascenso del nivel del mar, en la cual se integraron la información de elementos seleccionados de la lista de chequeo (filas) por municipios y unidades ambientales costeras (columnas) para cada zona costera, Caribe (continental e insular) y Pacífico.

Una vez construida la matriz y asignados los datos por elemento a cada uno de los municipios, la información se normalizó con el propósito de ponderar los datos y llevarlos a valores comparables entre sí. La normalización se hizo a través de la generación de rangos que permitieron asignar un valor de 1, 2 o 3 de acuerdo a sí el rango comprendía valores bajos, medios o altos, respectivamente.

Adicionalmente, a los valores generados a través de los rangos se empleo el valor de “0” para áreas donde la característica o el elemento esta ausente y la sigla “S.I.” en el caso de no tener información disponible (Tabla 3a y 3b). Luego de asignar todos los valores se generó la sumatoria de datos por municipio; se normalizaron los resultados con el fin de mantener la escala de valores utilizada para los rangos mediante la generación del cociente entre el valor de la sumatoria y el número de elementos con valor asignado, y se generó la escala de calificación de importancia en términos cualitativos: 1 = importancia baja, 2 = importancia media y 3 = importancia alta. Los municipios con valores de importancia alta son considerados como áreas críticas.

ÁREAS CRÍTICAS EN LA PROYECCIÓN DE 30 CM DE ANM

Al observar y analizar los resultados de la matriz utilizando las áreas de inundación de 30 cm de ANM, se aprecia que los municipios de importancia alta hacen referencia a dos de los municipios que contienen centros urbanos principales de la zona costera del Caribe, Santa Marta y Cartagena, al igual que el municipio de Turbo. Estos municipios presentan los más altos porcentajes de población afectada por área de estudio. Los dos primeros sectores poseen, además, características especiales que determinaron dicha importancia,

Espiga de Turbo que se originó a partir del Delta del Río Turbo. Este origen hace esta área altamente vulnerable ante la erosión acrecentada por la disminución de aportes sedimentarios, la interrupción de tránsito sedimentario debido al avance del río turbo y fenómenos de refracción del oleaje. La intervención antrópica y la degradación de los bosques naturales para dar paso a la industria bananera, han ayudado también a incrementar el retroceso acelerado de su costa (200 metros en los últimos 12 años) (INER et al., 1994). Turbo se sitúa en un área de alta sismicidad cuyo riesgo se acrecienta por su alta frecuencia, exponiendo a una gran cantidad de población a procesos de licuefacción de terrenos.

Al mirar los resultados con respecto a los municipios que pertenecen al área de la Ciénaga Grande de Santa Marta, (Tabla 3a) se puede analizar que la calificación de importancia media es resultante de la gran proporción de área que se estima va a ser afectada por el efecto de inundación. Este hecho es atribuible a la característica deltaica de la zona, además de concordar con la importancia a escala local, nacional e internacional que encierra la Ciénaga Grande de Santa Marta en cuanto a su dinámica ecosistémica, diversidad biológica, adaptación cultural y valoración económica de los bienes y servicios que presta el sistema a las comunidades asentadas en el área. La Ciénaga es catalogada en la actualidad como sitio “Ramsar” y “Reserva de la Biosfera”. Adicionalmente a estas características, los municipios se presentan como áreas potencialmente afectadas debido al número de habitantes y a la infraestructura presente.

Por otro lado, se puede considerar acertado el resultado que califica desde la perspectiva regional, según las características actuales identificadas en este estudio, a los demás municipios de la zona costera Caribe como de baja afectación. Dichos municipios no poseen por sí solos una conjugación de características que permitan tener una clasificación más alta, sin embargo, es necesario aclarar que existen sectores dentro de la zona costera Caribe que al agruparlos, es decir, contemplar varios municipios aledaños, adquieren una importancia significativa para el proyecto, como es el caso del golfo de Morrosquillo.

Adicionalmente, también se debe tener en cuenta la escala (1:300.000) a la que se realiza el presente estudio debido a que en algunos casos el nivel de detalle no permite incorporar la información o los datos adecuados para el análisis y debido a esto se puede subvalorar la importancia de un municipio, caso particular del Caribe insular, Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Por tal motivo, se sugiere profundizar más en el análisis para esta zona en particular.

La zona del Pacífico colombiano muestra como resultado 13 municipios calificados como de importancia baja, de un total de 18. De los restantes 4 municipios se ubican en la categoría de importancia media y solo Tumaco se considera como de importancia alta. Los municipios calificados con importancia media corresponden a centros urbanos de importancia en la zona costera donde existe una gran cantidad de infraestructura habitacional, comercial e industrial y se han registrado ocurrencias de fenómenos naturales extremos que han ocasionado pérdidas significativas.

Tumaco es la segunda ciudad más importante sobre el litoral Pacífico colombiano; según el modelo de inundación (Anexo 2. Informe técnico No. 2. Caracterización e Inventario) el área que se perdería en Tumaco es considerable así como el porcentaje de población que tendría que ser reubicada o protegida. Así mismo, Tumaco ha sido seriamente afectada por tres Tsunamis en el último siglo y es frecuentemente damnificada por las inundaciones fluviales.

ÁREAS CRÍTICAS EN LA PROYECCIÓN DE 100 CM DE ANM

Desarrollando el mismo análisis anterior, teniendo en cuenta una proyección de aumento de 100 cm, la matriz (Tabla 3a y 3b), muestra un resultado similar a la proyección de 30 cm en cuanto a áreas críticas se refiere. En esta proyección se mantiene las mismas áreas críticas identificadas para el Caribe, pero se destaca el municipio de Barranquilla que pasa de tener una importancia media a alta. Barranquilla ubicada en la margen sur del delta del río Magdalena, ha sido catalogada como distrito industrial y es la tercera ciudad más poblada de Colombia. Su ubicación ha favorecido su desarrollo, sin embargo, el desbordamiento del río y las ciénagas afectan la región frecuentemente durante la época de lluvias. Así mismo, las consecuencias de las lluvias y tormentas tropicales en la ciudad son considerables cada año.

Tres municipios que ante una proyección de 30 cm de ANM se situaban bajo la categoría de importancia baja, ante un aumento del nivel del mar de 1 m se clasifican con una importancia media. Tal es el caso de Los Córdoba, San Bernardo del Viento y Necoclí.

De igual forma en la zona del Pacífico, solo cinco de los 18 municipios, podrían considerarse poco afectados desde el punto de vista de inundación por el ANM de 1 m: Bajo y Alto Baudó, El Litoral del San Juan, López de Micay y el Municipio de Roberto Payán. Estos municipios verían menos de un 30% de su territorio afectado por el efecto de la inundación. El municipio de Buenaventura se registra aquí como un área crítica. En este municipio se encuentra el puerto más importante sobre el Océano Pacífico, la infraestructura afectada por la inundación sería considerable además del número de habitantes que se ubican en las zonas bajas. Buenaventura está situada en un área con alta frecuencia sísmica, es afectada por eventos de mareas altas y “pujas” y otros fenómenos naturales.

En conclusión el análisis de las matrices anteriores permite identificar a los principales centros urbanos de las zonas costeras colombianas, Cartagena, Barranquilla, Santa Marta, Buenaventura y Tumaco como puntos críticos ante aumento del nivel del mar. De igual forma se destaca el municipio de Turbo, que por su ubicación en un plano deltáico sumado a su crecimiento demográfico desordenado lo convierte en un área potencialmente sensible ante el ANM+ (Figura 8 y 9).

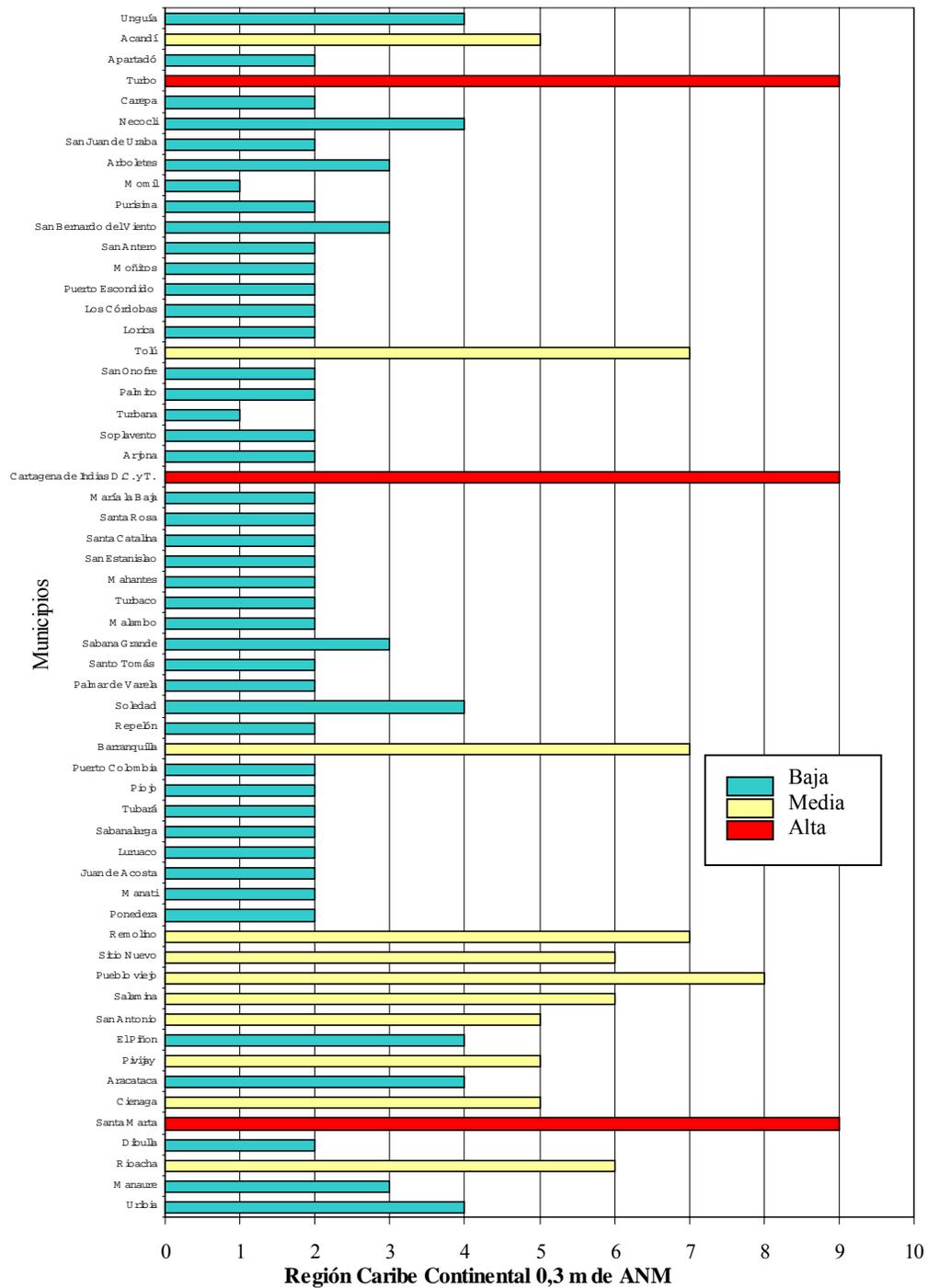


Figura 8. Representación esquemática de las áreas críticas definidas mediante la matriz de valor de importancia con 30 cm de ANM en las condiciones actuales. El valor de importancia se define como la suma de valores ponderados de área inundada, población afectada y áreas de manejo especial al nivel municipal.

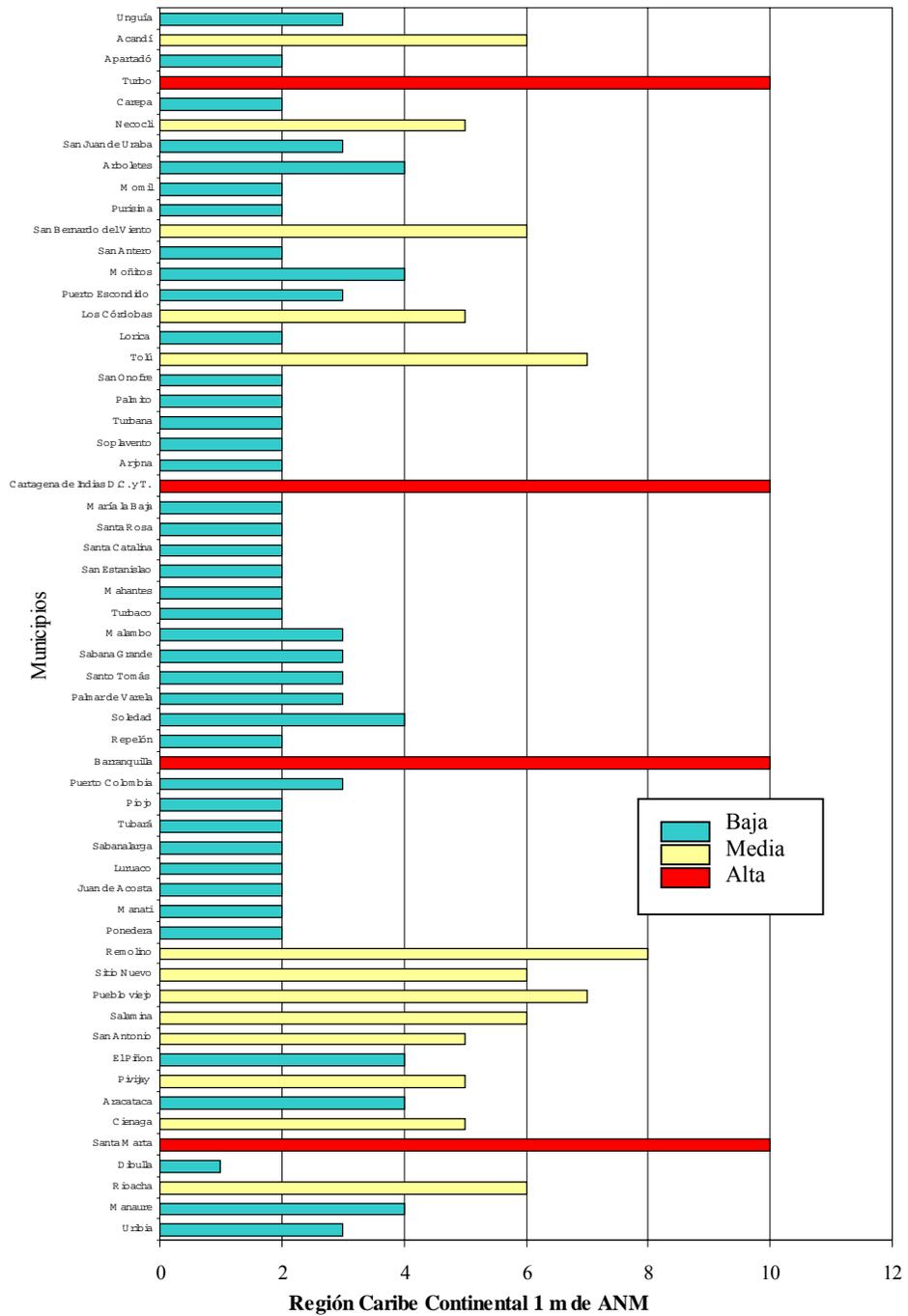


Figura 8. Continuación. Representación esquemática de las áreas críticas de la región Caribe definidas mediante la matriz de valor de importancia con 1 m de ANM en las condiciones actuales. El valor de importancia se define como la suma de valores ponderados de área inundada, población afectada y áreas de manejo especial al nivel municipal.

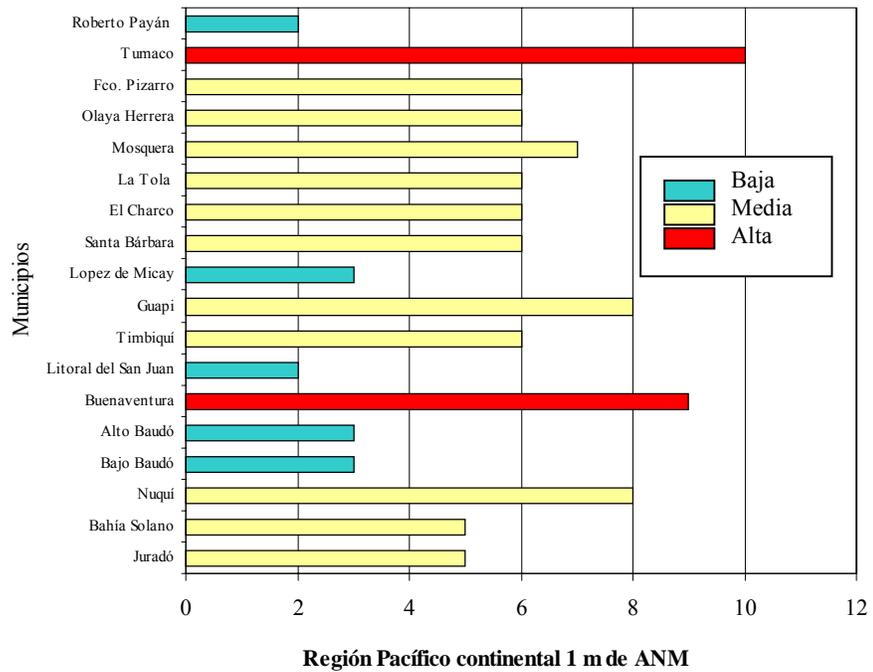
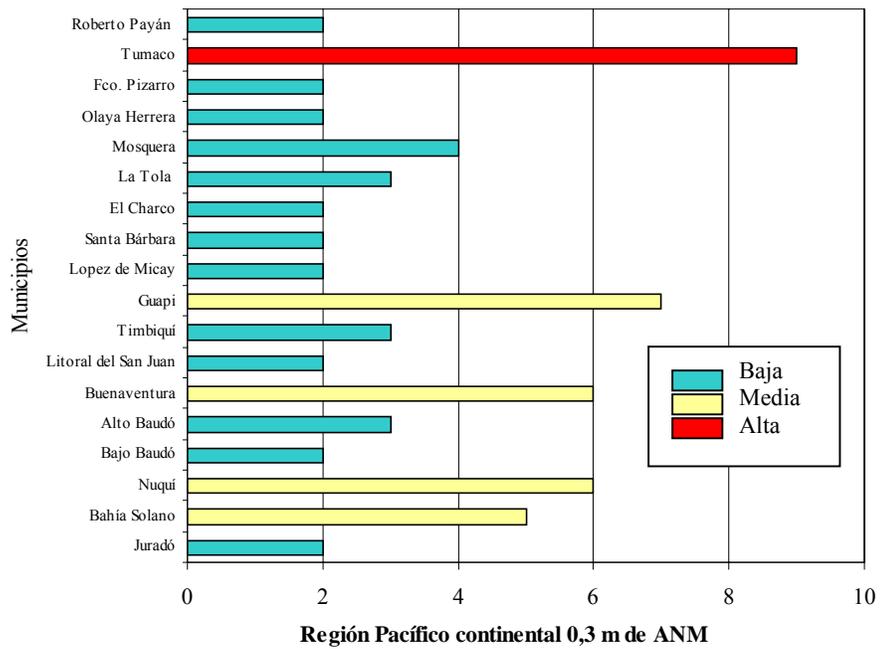


Figura 9. Representación esquemática de las áreas críticas de la región Pacífico definidas mediante la matriz de valor de importancia con 0.3 y 1 m de ANM en las condiciones actuales. El valor de importancia se define como la suma de valores ponderados de área inundada, población afectada y áreas de manejo especial al nivel municipal.

Análisis de las posibles estrategias de respuesta

Identificación de estrategias por análisis multicriterio

A través del análisis desarrollado en el apartado anterior se estableció una primera definición de las zonas más críticas ante un ascenso del nivel del mar en Colombia. En este apartado a través de la metodología de análisis multi-criterio, se ha querido establecer a grandes rasgos, cuales sería las estrategias más adecuadas de implementación para cada una de esas áreas, independientemente de su costo de ejecución y mantenimiento. Posteriormente el análisis de costos permitirá establecer con mayor exactitud la factibilidad de las estrategias. Esta aproximación es hecha pensando en el corto y largo plazo, es decir, en un período de 30 años y de 100 años.

El análisis multicriterio es una herramienta utilizada comúnmente en los procesos de toma de decisión por ser objetivo y presentar opciones que al tomador de decisión no habría considerado. Para este análisis se ha modificado el análisis presentado por Phillips (2001) y el DTLG (2001)².

Teniendo en cuenta la dispersión y ausencia de información. Las estrategias para tratar el cambio en el nivel del mar, que se proponen en este análisis, incluyen algunas utilizadas globalmente como protección total, adaptación y reubicación así como algunas basadas en consultas con expertos y que aplazaría para sitios específicos (ie. islas artificiales, arrecifes artificiales). También se han incluido como parte de las estrategias, la planificación y el desarrollo ordenado así como las estrategias de respuestas a fenómenos naturales que ocurren en las zonas costeras.

El análisis multicriterio se realizó en cada una de las áreas críticas resultado de la matriz de áreas críticas, al igual que en las áreas caso de estudio (UMI Guapi-Iscuandé y Morrosquillo). Como se podrá apreciar en la Tabla 4 sobre las estrategias de respuestas, se utilizó un modelo muy simple dada la gran incertidumbre y amplitud de los datos.

Es necesario tener en cuenta que aunque se ha querido dar énfasis en la necesidad de que cualquier estrategia que se construya o se escoja, debe de estar enmarcada dentro del concepto de manejo integrado de las zonas costeras y del desarrollo propio de cada región. Sin embargo, al determinar los rangos para cada uno de los criterios se está tomando en cuenta únicamente el aumento en el nivel del mar y que el objetivo de estas estrategias es la protección a la inundación.

² Department for transport, local government and the regions.
<http://www.dtlr.gov.uk/about/multicriteria/>



Tabla 4. Esquema de la matriz de análisis multi-criterio para la jerarquización de estrategias de respuesta.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	Estrategias de respuesta													
	Area inundada	Población afectada	Infraestructura afectada	produccion afectada	Ecosistemas	areas de conservacion	patrimonio cultural	Efectos de los fenomenos naturales estacionales	Frecuencia y efectos de desastres naturales	Procesos estuarinos y deltaicos	Estabilidad linea de costa	Intrusion salina	Costos de protección/pérdida	PESO	PESO	No intervencion	Reubicación	Adaptación	Pared	Dique	Isla artificiales	Puentes y Adecuación de vías	Arrecifes artificiales	Relleño de playas	reforzar las estructuras existentes	Incentivar la acreción	
A Area inundada	-	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	Sum.A	A	PA	W	W	W	Z	Z	T	T	V	T	T	T
B Población afectada	BA	-	BC	BD	BE	BF	BG	BH	BI	BJ	BK	BL	BM	Sum.B	B	PB	W										
C infraestructura afectada	CA	CB	-	CD	CE	CF	CG	CH	CI	CJ	CK	CL	CM	Sum.C	C	PC	W										
D produccion afectada	DA	DB	DC	-	DE	DF	DG	DH	DI	DJ	DK	DL	DM	Sum.D	D	PD	W										
E Ecosistemas	EA	EB	EC	ED	-	EF	EG	EH	EI	EJ	EK	EL	EM	Sum.E	E	PE	Y										
F areas de conservacion	FA	FB	FC	FD	FE	-	FG	FH	FI	FK	FL	FM	Sum.F	F	PF	T											
G patrimonio cultural	GA	GB	GC	GD	GE	GF	-	GH	GI	GJ	GK	GL	GM	Sum.G	G	PG	W										
H Efectos de los fenomenos naturales estacionales	HA	HB	HC	HD	HE	HF	HG	-	HI	HJ	HK	HL	HM	Sum.H	H	PH	W										
I Frecuencia y efectos de desastres naturales	IA	IB	IC	ID	IE	IF	IG	IH	-	IJ	IK	IL	IM	Sum.I	I	PI	W										
J Procesos estuarinos y deltaicos	JA	JB	JC	JD	JE	JF	JG	JH	JI	-	JK	JL	JM	Sum.J	J	PJ	Z										
K Estabilidad linea de costa	KA	KB	KC	KD	KE	KF	KG	KH	KI	KJ	-	KL	KM	Sum.K	K	PK	T										
L Intrusion salina	LA	LB	LC	LD	LE	LF	LG	LH	LI	LJ	LK	-	LM	Sum.L	L	PL	W										
M Costos de protección/pérdida	MA	MB	MC	MD	ME	MF	MG	MH	MI	MJ	MK	ML	-	Sum.M	M	PM	Z										

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
A	W x PA	W x PA	W x PA	Z x PA	Z x PA	T x PA	T x PA	V x PA	T x PA				
B	W x PB												
C	W x PC												
D	W x PD												
E	Y x PE												
F	T x PF												
G	W x PG												
H	W x PH												
I	W x PI												
J	Z x PJ												
K	T x PK												
L	W x PL												
M	Z x PM												

Puntaje total estrategias														
---------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Nota

1. Los puntajes de los elemetos de decisión y las estrategias de respuesta, variaran según el área que se esté analizz

2. Sum.A = PA, Sum.B= PB, Sum.C=PC, etc.

3. El puntaje total de cada estrategia es el resultado de la sumatoria de la relación entre el elemento afectado (PA, PB, PC...) y la efectividad de la estrategia para protegerlo o beneficiarlo (W=1; V=2; T=3; Y=4; Z=5)

El primer paso del análisis consiste en la identificación de los elementos que se verían más afectados por el cambio en el nivel del mar, dentro de cada área crítica. De esta forma se hace una priorización de los elementos afectados de acuerdo con las características intrínsecas de cada área y se confronta con las estrategias de respuesta, el resultado del análisis que se presenta en la Tabla 4 muestra una priorización de las estrategias que serán sometidas después a un análisis de costos.

El primer paso consiste en la jerarquización de los elementos de importancia en cada una de las áreas críticas, para lo cual se establece una calificación de 0, 1 y 2 según sea más, menos o de igual importancia. Teniendo en cuenta que las áreas críticas corresponden a los municipios donde se encuentran las ciudades más importantes de las zonas costeras colombianas, la información sobre el área de inundación, la población, infraestructura y producción, urbanos y rurales se clasifican dentro de un mismo ítem. Los diferentes ecosistemas, tanto terrestres como de transición y marinos se han conglomerado bajo el ítem ecosistemas. Áreas de conservación incluye tanto los Parques Nacionales Naturales como las otras áreas que han sido catalogadas como de importancia internacional. Bajo el ítem de fenómenos naturales estacionales se incluyen las lluvias, mares de leva y fenómenos que ocurren con cierta periodicidad en el área, que son comunes y pueden o no causar impactos. Dentro de los desastres naturales se incluyen todos los fenómenos naturales que potencialmente pueden ser desastres (según la definición dada por ISDR3, 2002). Los procesos deltáicos y estuarinos incluyen los desbordamientos anuales de ríos, lagunas y ciénagas, cambios de canal y en general la dinámica relacionada con estos sistemas.

Es importante resaltar que aunque el formato es muy similar para cada área crítica se han cambiado el nombre de algunos criterios. El Patrimonio cultural y los monumentos nacionales son importantes en el Caribe en especial en Cartagena (por su abundancia e importancia), mientras que la presencia de resguardos y comunidades negras es más importante para la región del Pacífico. No son excluyentes estas características, sin embargo, no hay patrimonios tan importantes en el Pacífico como Cartagena y en las áreas críticas del Caribe no hay reservas indígenas en el área de inundación.

En cada una de las áreas críticas identificadas tendrán diferentes grados de importancia los criterios escogidos, según sus características, desarrollo y actividades que sustenten el crecimiento económico de las mismas. Dependiendo de la importancia económica del área que se inunde, los servicios ambientales de los ecosistemas, la población que las habite, las viviendas, presencia o ausencia de desarrollo en zonas de inundación y la influencia de los desastres naturales, algunas estrategias de protección serán más benéficas que otras para las diferentes áreas críticas. En la segunda parte del análisis multicriterio se dan valores de rango a cada una de las estrategias de protección de acuerdo a su capacidad de proteger cada una de las características del área y a las que previamente se les ha dado un peso según la importancia de la característica.

En la sección siguiente se establecerá un análisis de costo como lo propone la metodología del IPCC, a gran escala. Dicho análisis se podrá establecer en investigaciones futuras con más profundidad y más información sobre los costos y posibles consecuencias sobre el sistema de las mismas. Debido a lo anterior, la dificultad de valorar ciertas acciones en el país y la falta de experiencia sobre el tema en Colombia, no todas las estrategias sometidas

³ United Nations International Strategy for Disaster Reduction



al análisis multicriterio serán analizadas con costos. Tal es el caso de las estrategias de acreción, el reforzamiento de estructuras existentes y las obras de ingeniería hidráulicas en los deltas de los ríos. Teniendo en cuenta que dentro de los planes de desarrollo de cada uno de los municipios, se han incluido educación, manejo de cuencas, planificación urbana (regulaciones en la construcción de vivienda), construcción o ampliación del drenaje urbano y servicios públicos, estos no fueron incluidos como estrategias aisladas sino como parte de ese plan de desarrollo municipal. La construcción de puentes y adecuación de vías hacen parte de la estrategia de adaptación en el estudio de costos, aunque se presenten separados en esta matriz. Esta estrategia, en algunas de las áreas críticas es una estrategia que además de adaptación considera la construcción de vías y puentes nuevos que beneficiarían la dinámica natural de los procesos y/o también contribuirían con la protección de las áreas de inundación.

Es importante mencionar que se analizaron los beneficios y detrimentos de cada estrategia de respuesta para cada uno de los criterios seleccionados, independientemente uno de otro. La sumatoria del puntaje de cada estrategia es lo que al final va a jerarquizar las estrategias para cada área crítica.

La caracterización se ha establecido como

1= estrategia negativa para la característica, muy mala opción

2= estrategia negativa

3= no afecta la característica

4= benéfico para la característica

5= muy benéfico para la característica

En el ámbito nacional, los resultados del análisis que se resumen en la Tabla 5 demuestran que, a pesar de que prevenir la inundación es el objetivo de las estrategias de respuesta, son más importantes el desarrollo y la implementación de los programas al interior de cada uno de los planes de desarrollo municipal, el apoyo a la investigación y desarrollo de tecnologías, así como la incorporación de sistemas de alarmas, que tener en cuenta únicamente la construcción de estructuras que prevengan contra la inundación.

Es importante mencionar que una desventaja del análisis multicriterio, como se ha tomado en este proceso, es que jerarquizan las estrategias de respuesta más beneficiosa para cada área, ello no significa que esa sola estrategia sea la única solución, al contrario una combinación de ellas sería la solución o estrategia más adecuada.

En las secciones anteriores de este documento se explicaron con algún detalle algunas de las estrategias que se podrían implementar en las costas colombianas. A continuación hace una breve reseña de las estrategias que se incluyeron en el análisis multicriterio, considerando el corto (30 años) y el largo plazo (100 años).

Medidas a considerar en el corto plazo:

- Ausencia de intervención: el gobierno no toma ninguna medida ante el aumento el nivel del mar.

Tabla 5 Estrategias recomendadas para cada una de las áreas críticas y caso de estudio, de acuerdo a los resultados del análisis multicriterio

<i>Santa Marta</i>	<i>Barranquilla</i>	<i>Cartagena</i>	<i>Turbo</i>	<i>Morrosquillo</i>	<i>Buenaventura</i>	<i>Guapi</i>	<i>Tumaco</i>
Apoyo investigación/generación de conocimiento	Planes de desarrollo	Apoyo investigación/generación de conocimiento	Apoyo investigación/generación de conocimiento	Apoyo investigación/generación de conocimiento			
Planificación local	Planificación local	Planificación local	Planificación local	Apoyo investigación/generación de conocimiento	Planificación local	Planificación local	Planificación local
Defensas costeras	Obras hidráulicas en el delta del Magdalena	Diques	Relleno de playas	Sistemas de alertas	Reubicación	Reubicación	Reubicación
Diques	Construcción de puentes y adecuación de vías	Defensas costeras	Defensas costeras		Obras hidráulicas en los deltas	Sistemas de alertas	Obras hidráulicas en los deltas
Incentivar la acesión	Reubicación	Construcción de puentes y adecuación de vías	Obras hidráulicas en los deltas	Incentivar la acesión	Incentivar la acesión	Obras hidráulicas en los deltas	Sistemas de alertas
Relleno de playas	Sistemas de alertas	Reubicación	Sistemas de alertas	Relleno de playas	Defensas costeras	Diques	Diques
Obras hidráulicas en los estuarios y deltas	Adaptación	Incentivar la acesión	Construcción de puentes y adecuación de vías	Obras hidráulicas en los deltas	Diques	Defensas costeras	Defensas costeras
Sistemas de alertas	Isla artificial	Relleno de playas	Reforzar estructuras existentes	Defensas costeras	Sistemas de alertas	Ausencia de intervención	Ausencia de intervención
Arrecifes artificiales	Pared	Reforzar estructuras existentes	Adaptación	Construcción de puentes y adecuación de vías	Adaptación	Incentivar la acesión	Construcción de puentes y adecuación de vías
Reubicación	Incentivar la acesión	Arrecifes artificiales	Reubicación	Arrecifes artificiales	Construcción de puentes y adecuación de vías	Relleno de playas	Incentivar la acesión
Adaptación	Relleno de playas	Adaptación	Programas de reforestación para reducir la erosión superficial.	Adaptación	Relleno de playas	Adaptación	Adaptación
Construcción de puentes y adecuación de vías	Ausencia de intervención	Sistemas de alertas	Ausencia de intervención	Reforzar estructuras existentes	Ausencia de intervención	Construcción de puentes y adecuación de vías	Relleno de playas
	Reforzar las estructuras existentes	Ausencia de intervención		Diques	Reforzar las estructuras existentes		
				Ausencia de intervención			

- La reubicación de población: aquellas poblaciones o sectores de las ciudades que se encuentren dentro del área de inundación serían trasladadas a zonas de no afectación.

- Reforzar las estructuras existentes: los camellones, barreras, espolones que estén actualmente y son eficaces para la prevención de la inundación se reforzarían de forma tal que pudiesen resistir y proteger las localidades de los impactos de la inundación por el ascenso progresivo del nivel del mar.

- La implementación de sistemas de alarmas: para prevenir a la población en caso de que ocurran fenómenos naturales y para la prevención de desastres a causa de dichos fenómenos. Se ha observado que se podrían evitar pérdidas humanas y materiales si las comunidades estuviesen informadas sobre los procesos de evacuación o comportamiento en eventos como terremotos, huracanes, tormentas tropicales, tsunamis e incluso desbordamiento de ríos. Informar a la comunidad con antelación sobre la ocurrencia de estos fenómenos cuando sea posible haría parte de este programa también

- Apoyo a las diferentes ramas de la investigación, generación de conocimientos y aplicación de tecnologías: esta estrategia promueve la inversión en investigación a todo nivel y en gran variedad de temas, desde cambio climático cubriendo los procesos estuarinos, los ecosistemas hasta posibles estrategias de protección, sistemas de alerta y alarma, estudios sobre conocimiento tradicional y comportamiento de las sociedades y desarrollo

- Planificación local: Son todos los planes que incluyen aquellos temas que tienen que ver con la gobernabilidad, planificación, identificación y solución de conflictos y desarrollo de las ciudades. Estos planes deben de estar enfocados al desarrollo sostenible de las ciudades y reconocer los riesgos y amenazas que tiene para fomentar un desarrollo ordenado y disminuir la vulnerabilidad a fenómenos como el aumento en el nivel del mar.

- Adaptación: incluye la elevación de tierras y acomodación de infraestructura al cambio en el nivel del mar. Eso podría incluir la clausura de los niveles más bajos de las edificaciones, el levantamiento por medio de estructuras de madera y la adecuación de la infraestructura de las ciudades para tales cambios.

Medidas a considerar en el largo plazo:

- La construcción de paredes y diques que prevengan la inundación.

- Incentivar la acreción : utilizando los ecosistemas que ya existen en las zonas costeras.

- La construcción de islas artificiales: esta estrategia fue propuesta en especial para Barranquilla como se observará mas adelante, donde se hace un redireccionamiento de los sedimentos de la desembocadura de los ríos para que se conglomeren y formen una isla o la utilización de los sedimentos extraídos por dragado para su depositación en algún otro lugar. La construcción de islas como se mencionó anteriormente ya ha sido empleada en Colombia, y específicamente en Buenaventura.

- Construcción de obras que cambien la dinámica de los deltas.

A continuación se presenta el análisis de los resultados de la matriz multicriterio para cada una de las áreas críticas y caso de estudio. Estas medidas son .

Santa Marta

La implementación del plan de desarrollo y el apoyo a la investigación y generación de conocimiento no son estrategias que contrarresten el cambio en el nivel del mar directamente sino que están relacionadas con la planificación y desarrollo adecuado de la ciudad.

En el análisis de esta área se tuvo en cuenta tanto la ciudad como la presencia del Parque Nacional Natural Tayrona, por lo tanto una misma estrategia podría no ser aplicable a las dos áreas simplemente porque el objetivo de protección sería diferente.

Dado que esta área no se encuentra en una región plana sino en las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta, una gran proporción de la ciudad se localiza en niveles superiores a un metro aunque el mayor desarrollo, el centro histórico y las estructuras hoteleras se encuentran muy cercanas a la costa y se verían afectadas por el aumento en el nivel del mar. Sin embargo, los diques y paredes costeras, construidos en forma armoniosa con la arquitectura de la ciudad protegerían infraestructuras de gran valor histórico que probablemente serían muy difíciles de adaptar. Es por ello que la construcción de estas barreras sería recomendable.

En lo referente a las playas, tanto las que se encuentran en el parque como las ubicadas en la ciudad, según el modelo de inundación desaparecerían a mediano plazo. Es por ello que el relleno de playas en combinación con otras estrategias de protección y desarrollo deben ser implementados con el fin mantener estas fuentes/ receptores de turismo.

Santa Marta es tal vez la única área crítica donde la reubicación no sea uno de las estrategias más recomendables, esto se debe a que como se mencionaba anteriormente, la ciudad está creciendo pero hacia las zonas altas y las poblaciones que se ubican en áreas de riesgo por desbordamiento de los ríos se prevé sean reubicadas a mediano plazo. La reubicación de las zonas bajas (centro históricos y hoteles) de la ciudad sería una labor bastante costosa y no muy factible.

Barranquilla

En este análisis en Barranquilla se incluye, el río Magdalena, la Ciénaga Grande de Santa Marta -CGSM y los municipios que la bordean. Por ser la CGSM área protegida bajo la Convención de Ramsar y adicionalmente Reserva de Biosfera por parte de la UNESCO, la jerarquización de los criterios posteriores al análisis de las estrategias de protección se pensaron tanto en lo referente a la parte metropolitana como a las áreas protegidas.

Barranquilla es un caso diferente a otras ciudades del Caribe puesto que el ascenso en el nivel del mar no afectaría tan directamente la ciudad, como las inundaciones provenientes del río Magdalena.

Además de las estrategias comunes a la mayoría de las áreas críticas, los resultados que arroja el análisis son acordes con la posición geográfica del distrito y la influencia del río Magdalena en su desarrollo pasado, presente y futuro. Las obras hidráulicas en los Deltas estarían relacionadas con la canalización, construcción de drenajes y diques que facilitarían la circulación del agua dulce al mar y evitarían los efectos de los desbordamientos durante las épocas de lluvias. La construcción de puentes y adecuación de vías se ha visto más orientado al flujo de agua y sedimentos en la ciénaga.

La construcción de una isla artificial como nueva zona portuaria, donde atraquen los grandes barcos para carga y descarga se sugirió, en especial para esta área, debido a que con el aumento en el nivel del mar y los cambios en las dinámicas del Delta es posible que el puerto se vea afectado en un futuro y los buques de gran calado no puedan ingresar. Barranquilla es el puerto más grande del Caribe por tanto aunque esta medida no evitaría la inundación sería una alternativa para evitar que la ciudad pierda una gran fuente de ingresos.

La implementación de sistemas de alarma para evitar daños y damnificados como consecuencia de los fenómenos naturales es de especial importancia en Barranquilla. Como se ha mencionado en informes anteriores en esta ciudad durante la época de lluvias, los caños y riachuelos se desbordan causando anualmente pérdidas humanas y materiales que podrían ser evitadas avisando y educando a la población.

Cartagena

Según los resultados del análisis multicriterio, la estrategia que más beneficiaría al municipio de Cartagena sería el apoyo a la investigación a la generación de conocimientos y tecnologías. La implementación y cumplimiento del plan de desarrollo tal y como se describió anteriormente en este capítulo, es vital para el municipio con o sin aumento en el nivel del mar, incluso es más relevante sabiendo que este fenómeno va a ocurrir y se puede planificar teniendo en cuenta sus posible impactos.

El plan de desarrollo de Cartagena, considera actualmente la reubicación de barrios enteros que se encuentran en zonas de riesgo. Además de estos sectores, valdría la pena considerar la reubicación de barrios vulnerables a la inundación por el ascenso del nivel del mar en un futuro, se esperaría que esta estrategia estuviese considerada dentro de los planes de desarrollo a corto, mediano y largo plazo. Sin embargo, es importante tener en cuenta que no toda el área inundada puede ser reubicada, la factibilidad de reubicar el área antigua de Cartagena y la zona turística (Bocagrande, Castillo Grande y Marbella) es muy baja, por esta razón la reubicación y el plan de desarrollo no pueden ser considerados como estrategias únicas. Así pues en la formulación de las estrategias, al hablar de reubicación se refiere a ciertas áreas de la ciudad, mientras que estas otras áreas en especial las turísticas serían protegidas por medio de barreras o diques.

Por otro lado se observa que para Cartagena las estrategias mas beneficiosas corresponden a la protección total, por medio de defensas costeras como diques que eviten la inundación y el relleno de las playas, ambas medidas adicionales, darían un mejor resultado, dada la importancia del turismo en la economía de la ciudad.

Turbo

Según el análisis multicriterio la estrategia más acertada para esta área es el apoyo investigación y la generación de conocimiento. Actualmente se solucionan los problemas erosivos del área con espolones y rompeolas (adyacentes a la línea de costa), sin embargo estas obras son hechas sin el conocimiento suficiente de la dinámica y los procesos costeros. De igual forma los efectos antrópicos con un alto crecimiento poblacional y un desarrollo agrícola desordenado, conducen a la deforestación y erosión superficial de las cuencas de los ríos que llegan al mar. Estos problemas de planificación implementados hoy en día, podrían servir para reducir la vulnerabilidad del área ante un ANM.

El análisis de igual forma plantea las estrategias de defensas costeras y relleno de playas como medidas de respuesta que hoy en día y a se llevan a cabo. Medidas más urgentes y severas como las obras hidráulicas en los deltas de los ríos del área y la adecuación de puentes, vías y obras de infraestructura (adecuación del aeropuerto “Gonzalo Mejía”, el apostadero naval, los

muelles para abastecimiento de combustible de motonaves y la zona turística), que hoy en día son necesarias, deberán ser planificadas de forma tal que cumplan la función de protección ante un eventual ANM del área urbana de Turbo.

En el área es notoria la tendencia generalizada a la disminución de bosques por los procesos de colonización. La recuperación y rehabilitación de áreas degradadas a través del control de la extracción de manglar, el control de vertimiento de aguas residuales, el manejo integral de cuencas y la conservación de áreas sensibles de procesos de intervención, pueden ser parte integral de las medidas de protección mencionadas.

Morrosquillo

Para el caso de estudio del golfo de Morrosquillo, la formulación e implementación de planes de desarrollo es la estrategia más adecuada para contrarrestar los posibles impactos del efecto de inundación debido a un posible aumento del nivel del mar. Esta estrategia es complementaria a la investigación y generación de conocimiento y tecnología.

La región del golfo de Morrosquillo es considerada en la actualidad como una área multipropósito en la cual se planea conjugar un desarrollo pujante para la región con la conservación de los recursos naturales y ecosistemas que en ella se encuentran. Dentro de los planes de desarrollo sectoriales se consideran proyectos relacionados con expansión portuaria y fortalecimiento del turismo en la región.

Razón por la cual, se hace necesario propender por una adecuada planificación y gestión costera que contemple la implementación de un sistema de alerta a riesgos naturales que permita prevenir la pérdida de vidas y bienes. El manejo de la cuenca baja deltaica del río Sinú incluyendo la reubicación de las personas que viven en la ribera del Río y la mitigación de impactos generados por la construcción de la represa hidroeléctrica sobre la dinámica del Río y su zona estuarina. La ordenación del territorio teniendo en cuenta medidas y criterios que incorporen la variable de aumento del nivel del mar dentro de la elaboración de criterios para la planificación.

Otras estrategias a tener en cuenta con relación a la dinámica costera de la zona y su posible cambio debido a un progresivo aumento del nivel del mar es la de incentivar la acreción con el fin de estabilizar la línea de costa y evitar la erosión, problemática que ya se observa en algunos sectores del Golfo.

La adaptación no se toma como una medida optativa debido a que para el caso específico de este análisis esta medida hace se relaciona principalmente con las áreas urbanas, y la región considerada comprende un mosaico de ambientes.

Buenaventura

Así como en las otras áreas de estudio, la implementación de planes de desarrollo apropiados es una de las estrategias más adecuada para Buenaventura además de la inversión en investigación y generación de conocimiento y de tecnologías. Dentro de los planes de desarrollo actuales para Buenaventura se está considerando la reubicación de la población que se encuentra ubicada en áreas intermareales. Buenaventura es el puerto más importante en el Pacífico, por tanto la adaptación del mismo es de suma importancia aunque dicha estrategia no haya resultado como primordial, esto se debe a que esta estrategia beneficiaría únicamente los criterios comprendidos en infraestructura y producción que son los relacionados con el puerto.

Los sistemas de alarma, al igual que en el resto del Pacífico aunque no evitarían la inundación, disminuirían pérdidas de vidas y materiales que actualmente se dan como consecuencia de los fenómenos naturales. Además la probabilidad de un Tsunami en el Pacífico es elevada así como la frecuencia de terremotos.

Estrategias, como los incentivos a la acreción que no fueron considerados dentro de las discusiones con los expertos, en este análisis resultan optativas porque a pesar de no evitar la inundación la disminuyen y aparentemente no irían en detrimento de otros elementos importantes en el Pacífico como los ecosistemas y los resguardos, al contrario fomentar la acreción con los mismos ecosistemas podría en algunos casos beneficiar a las comunidades humanas y la flora y fauna de la región.

La adaptación no se toma como una medida optativa puesto que el crecimiento de la ciudad está siendo desordenado y en algunos casos hacia el mar; optar por adaptar la infraestructura habitacional de estas áreas sería ir en contravía del mismo plan de desarrollo de Buenaventura.

Las demás alternativas no son viables para esta región por ello no se discuten; al menos a tiempo y con el desarrollo actual.

Guapi

Al igual que en las demás áreas críticas la implementación del plan de desarrollo y el apoyo a la investigación son las estrategias más recomendables según los resultados del análisis multicriterio. La reubicación de los pobladores en riesgo y el establecimiento de sistemas de alarmas son estrategias que de ser adaptadas disminuirán en gran medida la vulnerabilidad del área a los desastres naturales.

Dentro de las obras que se recomendarían para la protección contra la inundación, las obras hidráulicas en los Deltas serían las que más contribuirían a disminuir la vulnerabilidad del área. Sin embargo, estas no involucran la inundación originada con el cambio en el nivel del mar. Las defensas costeras podrían ser una solución para los centros urbanos aunque habría que hacer un análisis mucho más riguroso de costo /beneficio. Estas estrategias no serían aplicables a las áreas rurales que se encuentran cubiertas por manglares, sería necesario invertir en investigación referente a las estructuras naturales como estas para proteger la línea de costa y regular el aprovechamiento del manglar para estos efectos.

Tumaco

En Tumaco, al igual que las demás áreas críticas, el apoyo a la investigación y la implementación de planes apropiados de desarrollo son las estrategias más recomendadas. La reubicación de población aunque incluida dentro de los planes de desarrollo es muy importante dado que como se ha mencionado en informes anteriores una gran proporción de la población de Tumaco habita en las áreas intermareales y se observa el crecimiento desordenado hacia esas áreas.

Además del aumento del nivel del mar, la región de Tumaco y los municipios aledaños han presenciado 3 tsunamis de gran intensidad en los últimos 100 años, están ubicados sobre fallas geológicas lo que hace que la probabilidad de terremotos sea alta y en la congruencia de ríos importantes de la región del Pacífico. Así pues la vulnerabilidad de Tumaco a los desastres naturales es alta, incluyendo las inundaciones estacionales de los ríos que aunque suelen dejar menos víctimas son mucho más comunes.

Por otro lado la adecuación de un sistema eficiente de alarmas acompañado de un equipo de predicción y respuesta de fenómenos naturales ayudaría a evitar desastres naturales con

pedidas de vidas y materiales de las magnitudes que se han presentado en este siglo. Se considera que ésta es una de las estrategias más urgentes a implementar en Tumaco a corto plazo.

La construcción de defensas costeras como muros de contención y diques mantendrían Tumaco libre de inundación. Sin embargo, ello involucraría la construcción a lo largo de toda la línea costera y esto no evitaría las inundaciones fluviales.

Se observa que la reubicación completa de la ciudad de Tumaco es una opción más factible que su protección. La economía de esta ciudad está dominada por el puerto y recientemente la acuicultura, actividades que pueden ser adaptadas al aumento del nivel del mar. Un análisis de costo beneficio muy detallado sobre dicha posibilidad, podría orientar a las autoridades nacionales y regionales sobre el futuro de Tumaco.

Especificación de estrategias de respuesta y costos

La metodología del IPCC propone tres estrategias de respuesta ante un ARNM y que son: acomodar, protegerse o retirarse. La posibilidad de ejecución y el efecto sobre el sistema hacen parte de la evaluación integral de la vulnerabilidad. Por lo tanto, un estimativo de los costos y una evaluación de los efectos de las opciones seleccionadas, deben ser incorporadas dentro de este estudio. Sin embargo, por razones prácticas se hará una primera aproximación basada en un procedimiento sencillo que considera sólo el número necesario de opciones para ilustrar los efectos. Para este escenario se consideraran al menos dos situaciones: una sin medidas de respuesta y otra con una respuesta de protección total.

La situaciones citadas anteriormente representa los casos extremos. Con el primero (sin medidas) se busca determinar el nivel de referencia, en el cual se mostrará el mayor impacto provocado por el ARNM sin ningún tipo de estrategia definida y con un costo nulo. La segunda situación representa el nivel con más alto costo teniendo en cuenta que la respuesta (protección total) minimizará los efectos y el impacto del ARNM.

ESTRATEGIA DE RESPUESTA “SIN MEDIDAS ”

Consiste en no tomar medidas para proteger la costa ante un ARNM y los terrenos de las inundaciones por lluvias intensas y desbordes de ríos. Esta estrategia representa un extremo de las variantes de respuesta, lo que significa que al no tomar medidas, su costo es cero, pero así mismo, el daño es máximo.

ESTRATEGIAS DE RESPUESTA “PROTECCIÓN TOTAL”

Esta estrategia de protección total se define como

“La implementación de todas las medidas factibles para minimizar las pérdidas de cualquier zona costera y preservar el presente estatus de los bienes de capital distribuidos en dicha zona”.

En el área de estudio, las opciones consideradas para protección incluyen una variedad de posibles medidas para defender no solo la línea de costa al ARNM; sino también, los terrenos inundables por desbordes de ríos y precipitaciones.

Esta definición de “protección total” para este estudio incluye dos estrategias:

- A. Planificación local: donde se tienen en cuenta la implementación del Plan de Desarrollo y/o el Plan de Ordenamiento Territorial de cada uno de los municipios, como parte de las estrategias, ya que son procesos de planificación que apuntan a la preparación de un conjunto de decisiones tomadas, normalmente por o para la administración con el objeto de actuar a futuro. El Plan de Desarrollo de cada municipio busca posibilitar un desarrollo económico en armonía con el medio natural, considerando en sus estrategias, programas y proyectos, criterios que les permitan estimar los costos y beneficios ambientales para definir acciones que garanticen a las actuales y futuras generaciones una adecuada oferta ambiental” (Ley 152 de 1994). El Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de cada municipio busca armonizar y actualizar los demás iniciativas de planeación descritas en la constitución, los planes de desarrollo municipales, la Ley orgánica de áreas metropolitanas, y la Ley por la cual se crea el SINA; estableciendo mecanismos que permitan al municipio, en ejercicio de su autonomía, promover el ordenamiento de su territorio, uso equitativo y racional del suelo, preservación y defensa del patrimonio ecológico y cultural localizado en su ámbito territorial y la prevención de desastres en asentamientos de alto riesgo, así como la ejecución de acciones urbanísticas y la prevención de desastres en asentamientos de alto riesgo, así como la ejecución de acciones urbanísticas eficientes (Ley 388 de 1997- Art.1 num. 2).

Para este análisis se tendrán en cuenta estos dos planes, sin embargo, se buscara tomar como primera opción siempre el POT ya que este como se mencionó anteriormente incluye en parte acciones de los planes de desarrollo. Adicionalmente los POT están proyectados a los próximos 10 años.

La mayoría de estos planes incluyen acciones donde se toman medidas para reducir los riesgos provocados por la variabilidad climática como el fenómeno ENOS y/o fenómenos de mal tiempo y catastróficos, como inundación por el desborde de los ríos y precipitaciones, eventos Tsunamis, entre otros, sin un ANM (p.e. plan de manejo de cuencas, construcción de drenaje urbano, refuerzos de infraestructura, entre otros).

- B. Medidas adicionales: donde se incluye la construcción e implementación de nuevas medidas de adaptación y defensa como ingeniería pesada (p.e. construcción de diques, muros de contención, etc), ingeniería leve (p.e. relleno de playas o construcción de arrecifes ratificales con bolsas de arena) específicamente para la protección con un ARNM (+1m).

$$\blacksquare \text{ “Protección total”} = A + B$$

SAN ANDRES DE TUMACO: Cabecera municipal

Estrategias de respuesta (Figura 10):

- A. Planificación local:

Se tuvo en cuenta el Plan de Ordenamiento Territorial del municipio y el cual hace parte integral del Programa Sustentable de la costa Pacífica, el cual consta de diferentes componentes, y donde cada uno de estos tiene programas específicos a desarrollar, los componentes son :

- Componente de educación
- Componente de salud
- Componente de agua potable y saneamiento básico



Figura 10. Esquematización de las estrategias de respuesta ante un ANM en la cabecera municipal de San Andrés de Tumaco.

- Componente Recreación deporte y cultura
- Componente otros, donde se incluye infraestructura en electrificación, equipamiento municipal, desarrollo comunitario, pago de deuda de inversión social y planeación municipal.

B. Medidas adicionales:

- Mejorar y fortalecer el sistema de vías, comunicaciones y medios de transporte

- Promover el reordenamiento y la ubicación de asentamientos humanos en áreas de menor riesgo.
- Con base en la zonificación de riesgo del POT. Establecer las debidas regulaciones para la construcción de nuevas viviendas e infraestructura, vías, etc, por debajo de los 3,40 m.
- Sistemas de alarma (ante un posible Tsunami).
- Plan de acción ante el fenómeno ENOS.
- Programa de investigación sobre los procesos naturales que se evidencian en el área (con miras a posibles estrategias de protección, específicamente en este caso: bosques de manglar).
- Mantenimiento de los canales naturales
- Adaptación del puerto (protegerlo con muros de contención o paredes, estos deberán ser financiados por ellos mismos)
- Adaptación de infraestructura de la industria petrolera (caso de ECOPETROL) y las camaroneras presentes en el área, donde se deben . donde se deben elevar diques pequeños)
- Proyección del crecimiento urbano hacia el sector continental, con las correspondientes adecuaciones del terreno (consolidación, elevación nivel topográfico, drenajes y construcción de diques impermeables).
- Efectuar un mantenimiento y reforzamiento al puente El Pindo, (Figura 11) como punto crítico para cualquier evacuación de la población de la isla de Tumaco.

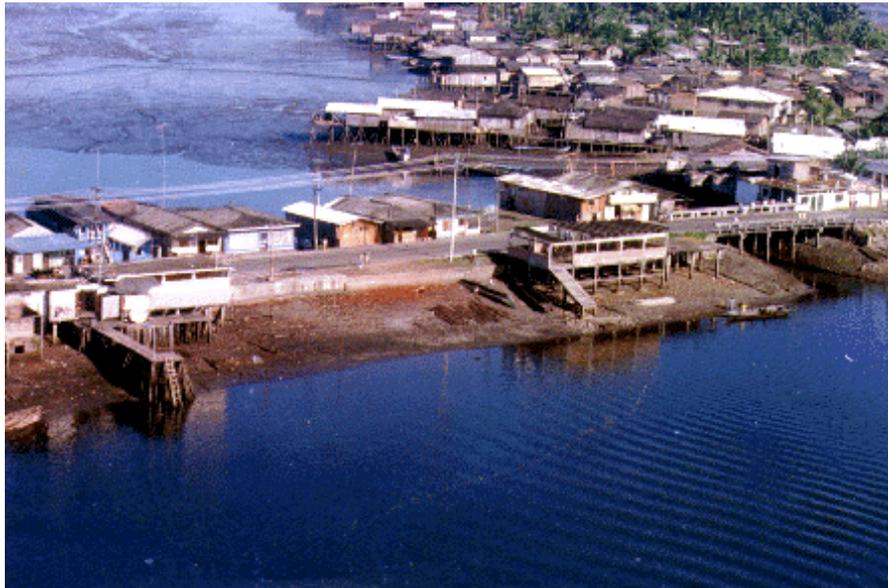


Figura 11. Puente El Pindo, unión entre Tumaco y el continente. Su estado actual presenta riesgos de erosión en sus bases. (Tomado de CCCP, 1998)

UNIDAD DE MANEJO INTEGRADO GUAPI-ISCUANDE

Estrategias de respuesta (Figura 12):

A. Planes de desarrollo:

Se tuvo en cuenta el Plan de Desarrollo, el cual consta de diferentes componentes, y donde cada uno de estos tiene programas específicos a desarrollar, los componentes son :

- Componente de educación, cultura y salud
- Componente de agua potable y saneamiento básico
- Componente de deporte recreación y cultura
- Componente otros sectores (adecuación de vías e infraestructura, prevención de desastres)
- Componente de turismo
- Componente de desarrollo Institucional
- Componente desarrollo ambiental
- Componente productivo
- Componentes de servicios (energía)
- Componente microempresas
- Componente de comunicaciones
- Componente de vivienda (incluye la regulación de la construcción de vivienda en zonas de riesgo).

B. Medidas adicionales :

- Reubicación de la población afectada.
- Regulación en el aprovechamiento de los bosques de manglar (estructuras de protección naturales).

Programa de investigación sobre los procesos naturales que se evidencian en el área (con miras a posibles estrategias de protección, específicamente en este caso: bosques de manglar).



Figura 12. Esquematización de las estrategias de respuesta ante un ANM en la Unidad de Manejo Integrado de Guapi-Iscuandé

BUENAVENTURA

Estrategias de respuesta (Figura 13):

A. Planes de desarrollo:

Se tuvo en cuenta el Plan de Ordenamiento Territorial del municipio y el cual hace parte integral del Programa Sustentable de la costa Pacífica, que consta de diferentes componentes, y donde cada uno de estos tiene programas específicos a desarrollar. Los componentes son:

- Componente de educación

- Componente de salud
- Componente de agua potable y saneamiento básico
- Componente Recreación deporte y cultura

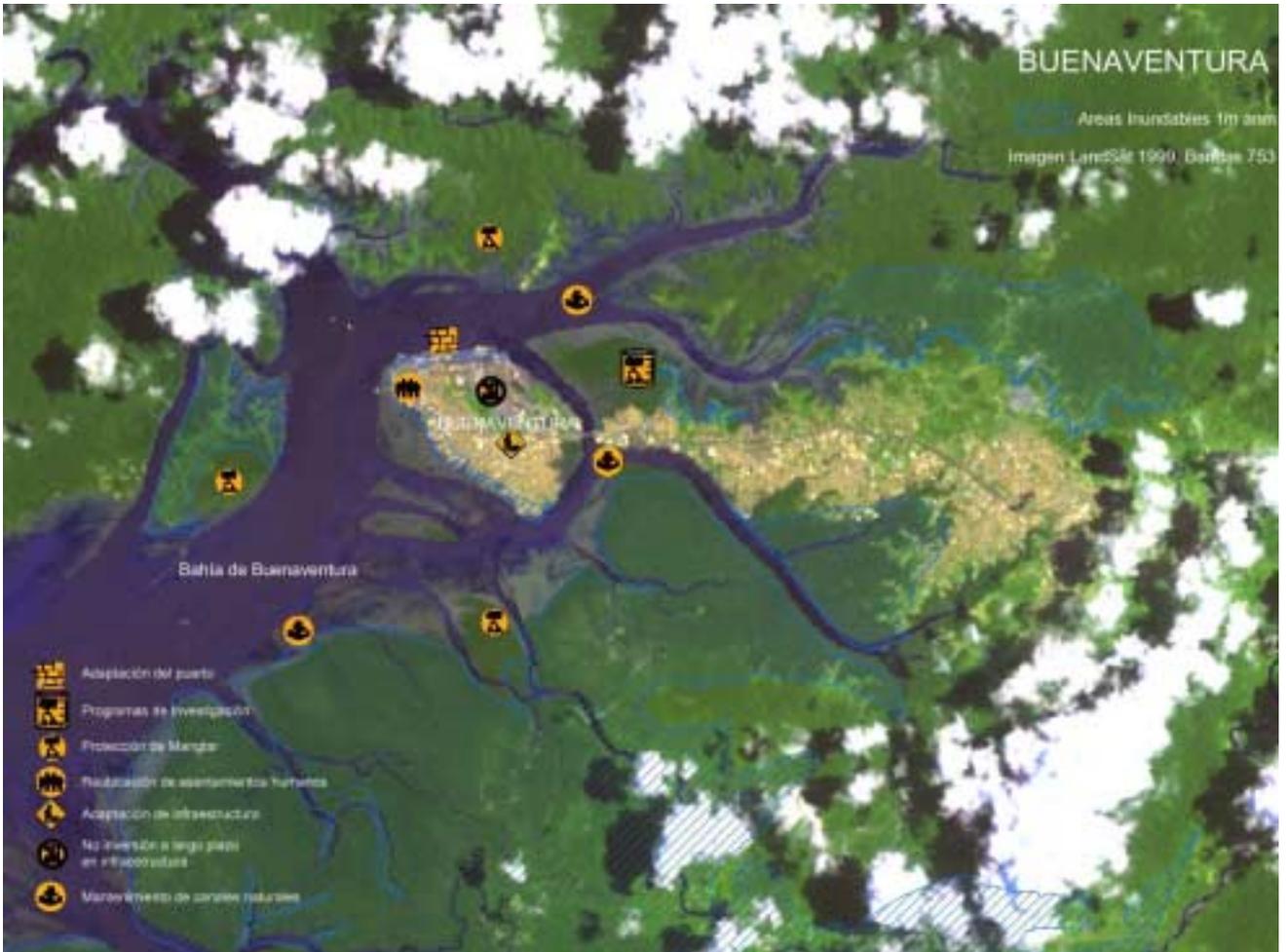


Figura 13. Esquemática de las estrategias de respuesta ante un ANM en Buenaventura.

- Componente otros, donde se incluye infraestructura en electrificación, equipamiento municipal, desarrollo comunitario, pago de deuda de inversión social y planeación municipal

B. Medidas adicionales:

- Adaptación del puerto (levantamiento de este, financiados por ellos mismos)
- Programa de investigación sobre los procesos naturales que se evidencian en el área (con miras a posibles estrategias de protección, específicamente en este caso: bosques de manglar).
- Medidas de protección del manglar

- Establecer las debidas regulaciones para la construcción de nuevas viviendas e infraestructura, vías, etc, por debajo de los 3,40 m.
- Estudios puntuales sobre establecimiento de viviendas.
- No invertir a largo plazo en infraestructura: buscar nuevas alternativas al gobierno y evaluar el costo / beneficio de estas.
- Mantenimiento de los canales naturales.

SANTA MARTA

Estrategias de respuesta (Figura 14):

Sector de Santa Marta:

A. Planes de desarrollo:

Se tuvo en cuenta el Plan de Ordenamiento Territorial, el cual consta de diferentes componentes, y donde cada uno de estos tiene programas específicos a desarrollar en un corto (2000-2003) mediano (2004-2006) y largo plazo (2007-2009), los componentes son:

- Componente general: donde se tiene en cuenta el Programa de Gestión Territorial y los siguientes sub-programas: a) Gestión institucional, b) Gestión financiera, c) Gestión de Medio Ambiente, d) Gestión patrimonial y e) Gestión comunitaria.
- Componente urbano: donde se tienen en cuenta los siguientes programas: a) Dimensión ambiental, b) Sistemas urbanos y espacio, c) Sistemas económicos, d) Sistema vial y de transporte, e) Servicios públicos domiciliarios, f) Vivienda, g) Equipamiento de servicios.
- Componente rural: donde se tienen en cuenta los siguientes programas: a) Dimensión ambiental, b) Sistemas urbanos y espacio, c) Sistemas económicos, d) Sistema vial y de transporte, e) Servicios públicos domiciliarios, f) Vivienda, g) Equipamiento de servicios.

B. Medidas adicionales:

- Relleno de la playa.
- Seguro por parte del gobierno: para cuando hayan daños por inundación.
- Planes de recuperación de la rivera del río Manzanares: dejar libres sus desembocaduras.
- Estudios sobre la dinámica costera (transporte de sedimentos): con el ánimo de construir un “arrecife submarino” o barrera submarina, la cual estaría conformada con bolsas de arena con eso si se necesita quitar o reubicar este en cualquier momento es solo cortarlo.
- Construcción de un dique marino de bajo costo no expuesto o protegido, sobre el Malecón: hacerlo de forma que quede inmerso dentro de la estructura del paisaje de este sector (como una ciclo vía o via-parque).

- Implementar la medida de “retroceso” de los pobladores: reubicar el comercio que esta sobre la playa.
- Construir un muelle pesquero, dado que esta es la actividad productiva del sector.

Sector del Rodadero:

A. Planes de desarrollo:

Esta incluido dentro del POT de Santa Marta

B. Medidas adicionales:

- Construcción de un dique marino de bajo costo no expuesto o protegido, sobre el Malecón: hacerlo de forma que quede inmerso dentro de la estructura del paisaje de este sector (como una ciclo vía o via-parque).
- Relleno de la playa.

Sector del Parque Nacional Natural Tayrona:

A. Planes de desarrollo:

Por ser un Parque Nacional Natural dentro del Sistema Nacional de Áreas Protegidas-SINAP, este tiene su propio plan de manejo, el cual es coordinado por la Unidad Administrativa Especial del Sistemas de Parques Nacionales Naturales- UAESPNN, que depende directamente del Ministerio del Medio Ambiente.

CIENAGA GRANDE DE SANTA MARTA Y BARRANQUILLA

Estrategias de respuesta (Figura 15):

A. Planes de desarrollo:

Se tuvo en cuenta el Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Barranquilla, el cual consta de diferentes componentes, y donde cada uno de estos tiene programas específicos a desarrollar, los componentes son:

- Desarrollo institucional
- Educación ciudadana
- Obras públicas y Medio Ambiente
- Malla vial sectorial
- Espacio público
- Servicios públicos

- Abastecimiento (mercados satélites)
- Desarrollo urbano
- Desarrollo cultural (infraestructura cultural, bibliotecas etc)
- Educación
- Recreación



Figura 15. Esquematización de las estrategias de respuesta ante un ANM en Barranquilla y CGSM.

- Vivienda
- Transporte
- Seguridad ciudadana
- Asistencia técnica empresarial

- Canal Navegable (profundización del canal del río Magdalena a 40')g

B. Medidas adicionales:

- Medidas de Regulación sobre la construcción a lado sureste del río Magdalena.
- Construcción de un dique fluvial en el margen sureste del río Magdalena
- Hacer estudios sobre el sistema natural de una manera integral, entendiendo los procesos naturales de la CGSM y el río Magdalena.
- Elevar la carretera que conecta el municipio de Ciénaga con la ciudad de Barranquilla, con financiación internacional, ya que es sitio está catalogado como área RAMSAR y Reserva de Biosfera (entidades internacionales como la UNESCO, WWF, etc).
- En Bocas de Ceniza se propone crear una isla artificial redirigiendo los sedimentos por medio de un canal de acceso al margen Noreste de la desembocadura del río Magdalena.

CARTAGENA D.T.C.H

Estrategias de respuesta (Figura 16):

A. Planes de desarrollo:

Se tuvo en cuenta el Plan de Desarrollo, el cual consta de diferentes componentes, y donde cada uno de estos tiene programas específicos a desarrollar, los componentes son :

- Componente político y tributario
- Componente salud
- Componente deporte y recreación
- Componente Vivienda
- Componente infraestructura básica y saneamiento
- Componente infraestructura urbana
- Componente cultura ciudadana
- Componente gestión participativa
- Componente seguridad y convivencia

Componente de competitividad: Recuperación del canal de navegabilidad, reactivación de la construcción, impulsar exportaciones, vincular la universidad al sector productivo y fomentar cadenas productivas.

B. Medidas adicionales:

- Planes de reubicación de la población en sitios donde se presenta alta erosión, como en el área de la Boquilla.

- Plan de reubicación de la población en los alrededores de la ciénaga de Tesca y la boquilla
- Relleno de playas: en los sectores con mayor atractivo turístico (playas de Boca Grande, Castillo Grande y Marbella)
- Construcción de muros de contención en la Zona Industrial de Mamonal, en los pequeños puertos.
- Construcción de diques marinos de bajo costo con exposición o no protegidos, sobre el malecón de Boca Grande (diques, parecidos a los de las ciudades de Santa Marta y el sector del Rodadero).
- Construcción de muros de contención en todo el malecón del sector de Castillo Grande.



Figura 16. Esquematización de las estrategias de respuesta ante un ANM en Cartagena.

GOLFO DE MORROSQUILLO

Estrategias de respuesta (Figura 17):

A. Planes de desarrollo:

Se tuvo en cuenta el Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Tolú, el cual consta de diferentes componentes, y donde cada uno de estos tiene diferentes programas y proyectos específicos a desarrollar y que son:

- Programa integral de recuperación de playas
- Programa integral de recuperación de cauces naturales y desembocadura de caños
- Programa de recreación y deporte
- Programa de mejoramiento y recuperación de vías
- Programa de servicios públicos (sistema de acueducto y alcantarillado)
- Programa de salud



Figura 17. Esquematización de las estrategias de respuesta ante un ANM en el Golfo de Morrosquillo.

- Programa de educación
- Programa de saneamiento básico
- Proyecto Terminal de transporte intermunicipal
- Proyecto terminal de transporte para sub-zona coveñas
- Proyecto terminal marítimo para embarcaciones pequeñas
- Proyecto terminal transporte aéreo

B. Medidas adicionales:

- Entre Tolú y Coveñas: protección de la carretera contra la erosión, construir una barrera submarina con bolsas de arena sumergidas y reforestación de manglar en algunos tramos y muros de contención de bolsas de arena o piedra en los bordes de la misma.
- Estudios de investigación puntuales sobre procesos de deriva litoral como en el caso de la boca de la ciénaga la Caimanera.
- Planes de control y vigilancia sobre la extracción de arena de las playas.
- Plan de reubicación de la población.
- Delta del Sinú: Restaurar el flujo del sedimento.
- Al sur del delta del río Sinú y ciénaga la Caimanera, se debe propender por planes de conservación.
 - Llevar a cabo en Tolú una reglamentación y estrategia de recuperación de los acuíferos, por su posible salinización.
 - Área urbana de Tolú: mantenimiento de los muros de protección que ya están construidos.
 - Plan de Reubicación de parte de la población del municipio de San Bernardo del Viento.

En la Tabla 4, se presenta, un resumen de las estrategias de respuesta con “protección total” agrupadas y el tiempo de aplicación de cada una de estas, ya sea corto, mediano o largo plazo.

ESTRATEGIA A ESCALA NACIONAL

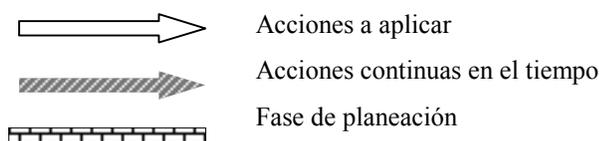
A nivel Nacional también se plantean estrategias de respuesta teniendo en cuenta los Planes de Desarrollo Nacional, como las Política Nacional Ambiental, Política Nacional Ambiental para el Desarrollo Sostenible de los Espacios Oceánicos y las Zonas Costeras e Insulares de Colombia PN –MIZC, Políticas sectoriales y las Política de Desarrollo territorial (Tabla 6).

A finales de 1993, con la creación del Ministerio del Medio Ambiente (MMA) (Ley 99 de 1993) como ente rector de la gestión ambiental del país y regulador de acciones referentes a la recuperación, conservación, protección, ordenamiento, manejo, uso y aprovechamiento de los recursos naturales renovables y del ambiente de la Nación, se establece el Sistema Nacional Ambiental –SINA-, integrado por las Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo

Sostenible –CAR’s-, autoridades ambientales encargadas del seguimiento y control de las políticas emitidas por el MMA y los Institutos de Investigación (INVEMAR, IIAP, IDEAM, SINCHI y Alexander von Humboldt), encargados de brindar asesoría al MMA y las CAR’s en materia técnico-científica.

Tabla 6. Estrategias de respuesta con “protección total”

Estrategias de repuesta	2002-2012	2012-2030	2030-2100
1. Planificación			
• Planes de Desarrollo Territorial-PDT			
• Planes de Ordenamiento Territorial-POT			
2. Medidas adicionales			
• Reubicación de la población.			
• Adaptación sistema vial y de puentes (elevación de carreteras)			
• Muro de contención (puertos y carreteras)			
• Construcción de pequeños diques marinos (sobre el malecón, en Cartagena y Santa Marta)			
• Construcción de dique fluvial (margen sureste río Magdalena-Barranquilla)			
• Rellenos de playas turísticas			
• Construcción de isla artificial.			
• Sistema de alerta			
• Apoyo a investigación.			



En este momento histórico, sigue siendo notoria la falta de una definición clara relacionada con la gestión de una zona del territorio nacional con características naturales, demográficas,

sociales, económicas y culturales propias y específicas, como lo son los espacios oceánicos y las zonas costeras e insulares. Sin embargo, tácitamente, el esquema institucional adoptado para el tema de MIZC es el mismo SINA (Figura 18), solo que teniendo en cuenta, exclusivamente las entidades con injerencia en las zonas costeras. Cabe resaltar, que por primera vez se adopta como soporte para la toma de decisiones el conocimiento científico, reflejado en la relevancia que se le da al INVEMAR como generador de información útil a la gestión (INVEMAR, 2001).

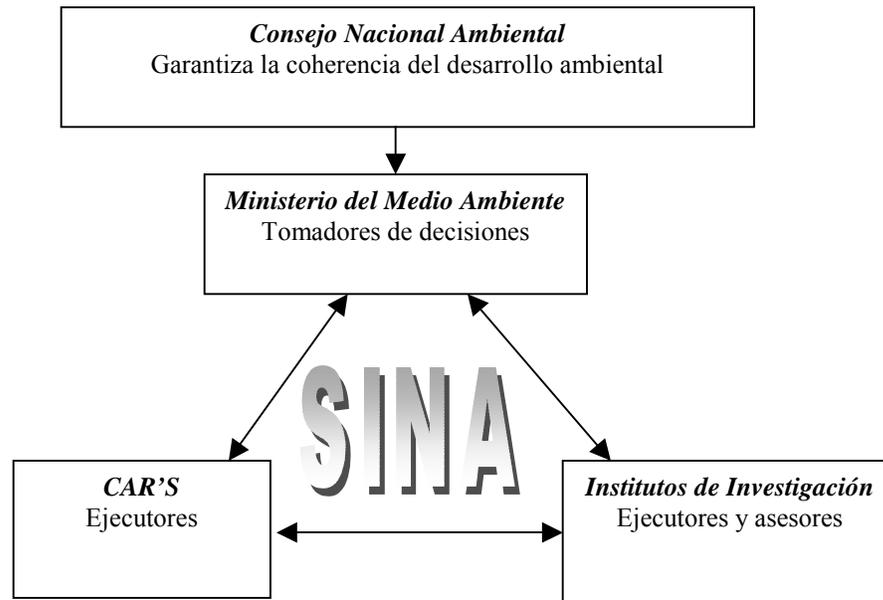


Figura 18. Estructura organizacional general del Sistema Nacional Ambiental -SINA

Dentro de las políticas Nacionales podemos citar la voluntad política de gobierno al querer llevar a cabo este proyecto como una de las estrategias de implementación de la Política Nacional Ambiental para el Desarrollo Sostenible de los Espacios Oceánicos y las Zonas Costeras e Insulares de Colombia. Sin embargo, es necesario describir algunas de estas estrategias que no están descritas en la política pero que pueden enriquecer la toma de decisiones por parte del gobierno nacional ante un ARNM y que podrán hacer parte del plan de acción que se llevara a cabo en este estudio en el paso 7. Así mismo lo lineamientos de política de Cambio Climático que esta coordinando el Ministerio del Medio Ambiente.

A. Planificación Nacional:

- Política Nacional Ambiental para el Desarrollo Sostenible de los Espacios Oceánicos y las Zonas Costeras e Insulares de Colombia (Anexo IA y IB).
- Política de Cambio Climático que esta en etapa de lineamientos y formulación

B. Medidas adicionales

- Redes de sistemas de alerta en los principales municipios afectados
- Redireccionar el crecimiento poblacional en las áreas urbanas.

- Disminuir los subsidios de desarrollo en las zonas costeras con algún riesgo de inundación al ARNM.
- Definir programas de investigación en zonas piloto con énfasis en la vulnerabilidad de las zonas costeras ante un ANM.
- Planes de conservación de humedales (manglares) como posibles “estructuras naturales” de protección.
- Incrementar los costos marginales para la adecuación de infraestructura costera

Estimación de costos asociados a las estrategias de respuesta:

ASPECTOS METODOLÓGICOS

Las posibles estrategias que se planteen como respuesta a un eventual ascenso en el nivel del mar pueden ser estructuradas de acuerdo a una variedad de criterios tales como la escala temporal, la vida útil y la escala social entre otros. Como criterio general el actual proyecto ha tomado el planteamiento de estrategias basadas en la respuesta pública, es decir, aquellas que involucran las acciones pro-activas del gobierno para minimizar los efectos del ascenso en el nivel del mar. En este caso, las medidas son tomadas bajo la expectativa de ocurrencia de eventos en el futuro. Adicionalmente, las medidas planteadas pueden ser subdivididas en medidas anticipadas y fortalecimiento institucional. Al primer grupo pertenece, por ejemplo, los proyectos que plantean la construcción o modificación de infraestructura actual considerando los posibles efectos del ascenso en el nivel del mar. Las medidas pertenecientes al segundo grupo están orientadas a la implementación de mecanismos institucionales, entrenamiento, educación e investigación (Frankhauser, 1998).

Vale la pena resaltar el punto anterior debido a que existen otras aproximaciones, es el caso de las medidas de adaptación individuales, las cuales son implementadas sin la acción gubernamental y básicamente por agentes privados con miras a resolver impactos adversos y generalmente de manera reactiva, es decir, las medidas son el resultado de la ocurrencia de un evento (Op. cit).

En concordancia con lo establecido en los capítulos anteriores, la formulación de las estrategias de respuesta adaptación es abordada en forma integral, lo que implica la consideración conjunta de las categorías de acomodación, retroceso y protección. Con el ánimo de presentar situaciones ilustrativas, en la estimación de los costos asociados a las estrategias de respuesta se considera una situación sin ANM y otra con ANM, siendo común en ambas la inclusión de los costos asociados a los planes de desarrollo y los costos de las medidas adicionales, estas últimas dirigidas específicamente a hacer frente al ANM.

En el marco de una situación sin ANM se considera entonces una situación sin medidas adicionales, de modo que el costo de las estrategias de respuesta se resume en los programas y proyectos propuestos por los planes de desarrollo. Simultáneamente se plantea la situación complementaria bajo fines comparativos, es decir, una situación con ANM, planes de desarrollo y medidas adicionales.

Antes de abordar los resultados obtenidos en cada caso, a continuación se presentan los aspectos metodológicos que definen los resultados presentados en las tablas 7 y 8.

PLANIFICACIÓN LOCAL

La metodología utilizada en la estimación de los costos asociados a los planes de desarrollo tiene como base el análisis de la información proporcionada por los Planes de Ordenamiento Territorial POTs y los Planes de Desarrollo de las áreas objeto de estudio para la formulación de medidas de adaptación.

Debido a que los costos totales de inversión de las diferentes áreas objeto de estudio correspondían a diferentes años, el costo total en precios corrientes fue expresado en valores presentes considerando la inflación de cada año en particular hasta el año 2001 y posteriormente estos valores fueron deflactados para obtener el costo de las inversiones a precios constantes de 2000 (ver anexo 1). Las tablas 7 y 8 muestran los resultados anteriores expresados en dólares estadounidenses, la primera de estas tablas contiene la información correspondiente a los costos iniciales, es decir el monto de la inversión total sin incluir los costos de mantenimiento pues estos últimos se muestran en la tabla 8.

Nótese que el valor correspondiente a “país” equivale a la sumatoria de los valores correspondientes a cada área objeto de estudio y de acuerdo a las estimaciones realizadas asciende a la suma de \$3,805.5 mil millones, equivalentes a US\$ 1,680 millones y a una participación del 2.2% del PIB colombiano en el 2001.

MEDIDAS ADICIONALES

Al igual que en caso anterior, este componente de los costos de implementación también toma como referente la información secundaria provista por diferentes fuentes de información, entre las que se destacan la secretaría de obras públicas de la Alcaldía de Santa Marta (2002), INURBE (2001), y DIMAR (1998) entre otras. La metodología utilizada en la estimación del costo de cada una de las medidas se explica a continuación.

De acuerdo con los datos presentados en la Tabla 7 se deduce que el costo total atribuible a la implementación de las medidas adicionales asciende en el año 2001 a la suma de \$1,333 mil millones, equivalente a US\$ 589 millones y al 0.8% del PIB Colombiano del mismo año. A continuación se detalla este valor de acuerdo a cada una de las medidas consideradas.

El costo de reubicación de viviendas en el presente estudio se ha estimado con base en el costo de reposición de las viviendas afectadas debido a la inundación de áreas urbanizadas. Este costo de reposición es calculado tomando como referencia el número de habitantes y viviendas municipales que arroja el Censo de 1993, de modo que el estimativo correspondiente al promedio de personas por viviendas particulares constituye un índice que permite, a partir de la población afectada, calcular el número de viviendas en áreas de inundación. Con base en la información anterior y la provista por INURBE (2001) respecto al costo promedio de la vivienda de interés social en Colombia se realiza el estimativo correspondiente al costo de reubicación de la población en el marco de una inundación repentina en el 2001 (ver anexo 4). Como se observa en la tabla 7 esta medida arroja para el año 2001 un costo que asciende a \$758.5 mil millones, equivalente a US\$ 335 millones.

La adaptación como medida adicional se define en este caso a través del costo atribuible a la elevación en un metro de altura de los sistemas viales urbanos. Dos componentes forman parte del estimativo, por un lado la longitud vial provista por el SIG-SR INVEMAR y el costo por longitud de la adecuación sin incluir costos de las obras de asfalto y rodadura (\$1,960.8

millones por Km),⁴ esta información aparece en el anexo 5. Con base en la información anterior se obtiene como resultado un costo que asciende en el año 2001 a \$117.6 mil millones, correspondientes a US\$ 52 millones.

En forma similar, los costos de construcción de muros de contención presentados en las tablas, también se derivan de la de información provista por el SIG-SR INVEMAR e información personal en lo referente al valor de la inversión asociada a la obra de ingeniería por unidad de longitud (anexos 5 y 6).⁵ Como se observa en la Tabla 7 el costo total para el país se ha estimado en US\$ 3 millones, es decir \$ 6.7 mil millones. Nótese adicionalmente que los valores extremos mínimos y máximos corresponde respectivamente a Tumaco y Cartagena.

En relación al costo de construcción de diques marinos, fluviales y relleno de playas, las fuentes básicas de información adicionales al SIG-SR INVEMAR son de tipo secundario. Debido a la no disponibilidad de información sobre los costos asociados a la construcción de diques en Colombia, para este caso en particular la información utilizada corresponde al trabajo realizado por Nicholls et al (1994) para Venezuela. De acuerdo con los resultados presentados en este trabajo, existen diferencias en los costos de construcción para costa abierta y costa protegida, diferenciación que se mantiene en este estudio para el cálculo de los costos de construcción de diques en Cartagena y Santa Marta, cuyos montos de inversión equivalen respectivamente a US\$, 0.9 millones y US \$ 1.3 millones, lo que equivale en pesos colombianos a \$2 mill millones y \$2.8 mil millones en el 2001(ver anexo 2).

Por las mismas razones ya consideradas, en la estimación de los costos de construcción del dique fluvial para la desembocadura del río Magdalena se tomó como referencia el promedio de los datos provistos por el Final Report of Vietnam Coastal Zone Vulnerability Assessment (1995), los resultados obtenidos corresponde a la cifra de \$2.1 mil millones en el año 2001, lo que corresponde a US\$ 1 del mismo año (anexo 2). Con el propósito actualizar la información suministradas por las dos fuentes en mención, se hizo necesaria la consulta de la cotización del dólar de los Estados Unidos en los años respectivos y la aplicación de la tasa de cambio. Igualmente fue necesario considerar la variación porcentual de la inflación anual con el objeto de expresar los costos de construcción al 2001 en precios constantes de 2000.⁶

En el caso de la estimación del costo de relleno de playas, la información es suministrada por el informe final de la Inspectoría DIMAR – CP5 sobre el dragado a 14 metros Canal de acceso Sector Manzanillo y Enrocado Fuertes San José y San Fernando en Bocachica (1998). Dentro de los resultados de este trabajo se realiza un estimativo de valor comercial de relleno de playa por m² en dos puntos de la ciudad de Cartagena (\$300,000 m² y 600,000 m²). Con base en los datos anteriores, en el presente estudio se toma el promedio de los costos para su posterior aplicación al caso de las playas de Marbella y Bocagrande en Cartagena y de la Bahía de Santa Marta y Rodadero en Santa Marta. El costo de esta medida en el año 2001, de acuerdo con los datos presentado en la Tabla 7 equivalen a \$401.1 mil millones, lo cual en dólares estadounidenses equivalen a US\$ 177.1 millones.

⁴ *Per.s com.* Uribe. 2002

⁵ *Per.s com.* Uribe. 2002

⁶Datos provistos por las estadísticas del Banco de la República (2002).

Los estimativos correspondientes a la construcción de arrecifes artificiales se derivan de cálculos propios con base en las características de la medida descritas previamente. Dicho costo se ha estimado para el año 2001 en \$94.9 millones para Santa Marta y \$596.1 millones para Morrosquillo (ambos expresados en precios constantes de 2000), el total para ambas áreas arroja un costo de US\$ 0.3 millones.

Otras medidas consideradas son la formación de islas artificiales para el caso específico de la desembocadura del río Magdalena, los sistemas de alerta para prevención de riesgos y los programas de apoyo a la investigación. En el caso de la primera medida, no se dispone de información sobre costos debido a que este tipo de obra de ingeniería no tiene antecedentes en Colombia. En el caso de los sistemas de alerta, los cálculos propios arrojan un costo mínimo y máximo de \$4.3 millones para el caso de la UMI Guapi-Iscuandé y \$113.2 millones para Barranquilla al año 2001 respectivamente (expresados en precios constantes de 2000). Nótese que costo total para el país es inferior un millón de dólares.

Finalmente, en lo que respecta al costo de ejecución de los programas de investigación, la fuente de información corresponde a la política Nacional Ambiental para el desarrollo Sostenible de los Espacios Oceánicos y Zonas Costeras e Insulares de Colombia (2001). Tal costo ascendiente a \$40.9 mil millones (pesos constantes de 2000), es decir, US\$ 18.1 millones.

Al considerar los totales generales (planes de desarrollo y medidas adicionales) que definen los costos de las estrategias de respuesta, se puede señalar que bajo una situación con 1 m de ANM en el escenario actual y la implementación de medidas adicionales, el costo total equivale aproximadamente al 3% del PIB colombiano del 2001. Estos resultados, analizados conjuntamente con los resultados de los pasos anteriores serán de gran relevancia en la evaluación de la vulnerabilidad que se presentara en el paso 6.

Tabla 7. Costos iniciales (US\$ mill) para la implementación de una estrategia de protección total en los principales municipio o áreas costeras con mayor impacto.

ESTRATEGIA DE PROTECCION TOTAL	unidades	SIN AUMENTO DEL NIVEL DEL MAR PLANIFICACIÓN LOCAL								CON AUMENTO DEL NIVEL DEL MAR (+1m) PLANIFICACIÓN LOCAL Y MEDIDAS ADICIONALES							
		País	Santa Marta	Barranquilla	Cartagena	G.Morrosquillo	Buenaventura	Guapi-Iscuande	Tumaco	País	Santa Marta	Barranquilla	Cartagena	G. Morrosquillo	Buenaventura	Guapi-Iscuande	Tumaco
A. PLANIFICACIÓN LOCAL	US\$ mill.	1.680,3	475,1	768,2	331,7	64,5	21,7	6,5	12,6	1.680,3	475,1	768,2	331,7	64,5	21,7	6,5	12,6
Subtotal	US\$ mill.	1.680,3	475,1	768,2	331,7	64,5	21,7	6,5	12,6	1.680,3	475,1	768,2	331,7	64,5	21,7	6,5	12,6
B. MEDIDAS ADICIONALES																	
1. Reubicación de la población	US\$ mill.	0	0	0	0	0	0	0	0	334,91	10,64	109,15	147,13	12,94	32,78	3,54	18,73
2. Adaptación (sistema vial, puentes)	US\$ mill.	0	0	0	0	0	0	0	0	51,95	0,00	51,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3. Muros de contención (puertos y carreteras)	US\$ mill.	0	0	0	0	0	0	0	0	2,96	0,09	0,00	1,17	1,54	0,17	0,00	0,00
4. Diques marinos (malecon)	US\$ mill.	0	0	0	0	0	0	0	0	2,18	1,25	0,00	0,92	0,00	0,00	0,00	0,00
5. Dique fluvial	US\$ mill.	0	0	0	0	0	0	0	0	0,97	0,00	0,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6. Relleno de playas	US\$ mill.	0	0	0	0	0	0	0	0	177,13	52,34	0,00	124,78	0,00	0,00	0,00	0,00
7. Construcción de arrecifes artificiales	US\$ mill.	0	0	0	0	0	0	0	0	0,31	0,04	0,00	0,00	0,26	0,00	0,00	0,00
8. Formación de Islas artificiales	US\$ mill.	0	0	0	0	0	0	0	0	ND **	0,00	ND **	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9. Sistemas de alerta	US\$ mill.	0	0	0	0	0	0	0	0	0,12	0,02	0,05	0,04	0,00	0,01	0,00	0,01
10. Apoyo a investigación	US\$ mill.	0	0	0	0	0	0	0	0	18,06	ND +	ND +	ND +	ND +	ND +	ND +	ND +
Subtotal	US\$ mill.	0	0	0	0	0	0	0	0	588,6	64,4	162,1	274,0	14,7	33,0	3,5	18,7
COSTOS TOTALES INICIALES	US\$ mill.	1.680,3	475,1	768,2	331,7	64,5	21,7	6,5	12,6	2.268,9	539,5	930,3	605,8	79,2	54,6	10,1	31,3

ND : No determinado por falta de información

ND **. No se cuantifico el valor de esta estrategia por falta de información

ND + : No se cuantificó el valor de esta estrategia en estas unidades

Tabla 8. Costos anuales (US\$ mill/km) de las estrategias de protección total en los principales municipios o áreas costeras con mayor impacto.

ESTRATEGIA DE PROTECCION TOTAL	unidades	SIN AUMENTO DEL NIVEL DEL MAR PLANIFICACIÓN LOCAL								CON AUMENTO DEL NIVEL DEL MAR (+1m) PLANIFICACIÓN LOCAL Y MEDIDAS ADICIONALES							
		Pais	Santa Marta	Barranquilla	Cartagena	G. Morrosquillo	Buenaventura	Guapi-Iscuande	Tumaco	Pais	Santa Marta	Barranquilla	Cartagena	G. Morrosquillo	Buenaventura	Guapi-Iscuande	Tumaco
A. PLANIFICACIÓN LOCAL	US\$ mill.	50,4	14,3	23,0	10,0	1,9	0,6	0,2	0,4	50,4	14,3	23,0	10,0	1,9	0,6	0,2	0,4
Subtotal	US\$ mill.	50,4	14,3	23,0	10,0	1,9	0,6	0,2	0,4	50,4	14,3	23,0	10,0	1,9	0,6	0,2	0,4
B. MEDIDAS ADICIONALES																	
1. Reubicación de la población	US\$ mill.	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2. Adaptación (sistema vial, puentes)	US\$ mill.	0	0	0	0	0	0	0	0	2,60	0,00	2,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3. Muros de contención (puertos y carreteras)	US\$ mill.	0	0	0	0	0	0	0	0	0,15	0,00	0,00	0,06	0,08	0,01	0,00	0,00
4. Diques marinos (malecon)	US\$ mill.	0	0	0	0	0	0	0	0	0,11	0,06	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00
5. Dique fluvial	US\$ mill.	0	0	0	0	0	0	0	0	0,05	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6. Relleno de playas	US\$ mill.	0	0	0	0	0	0	0	0	8,86	2,62	0,00	6,24	0,00	0,00	0,00	0,00
7. Construcción de arrecifes artificiales	US\$ mill.	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8. Formación de Islas artificiales	US\$ mill.	0	0	0	0	0	0	0	0	ND **	0,00	ND **	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9. Sistemas de alerta	US\$ mill.	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10. Apoyo a investigación	US\$ mill.	0	0	0	0	0	0	0	0	ND **	ND +	ND +	ND +	ND +	ND +	ND +	ND +
Subtotal	US\$ mill.	0	0	0	0	0	0	0	0	11,8	2,7	2,7	6,3	0,1	0,0	0,0	0,0
COSTOS TOTALES ANUALES	US\$ mill.	50,4	14,3	23,0	10,0	1,9	0,6	0,2	0,4	62,2	16,9	25,7	16,3	2,0	0,7	0,2	0,4

ND : No determinado por falta de información

ND **. No se cuantificó el valor de esta estrategia por falta de información

ND + : No se cuantificó el valor de esta estrategia en estas unidades

Bibliografía

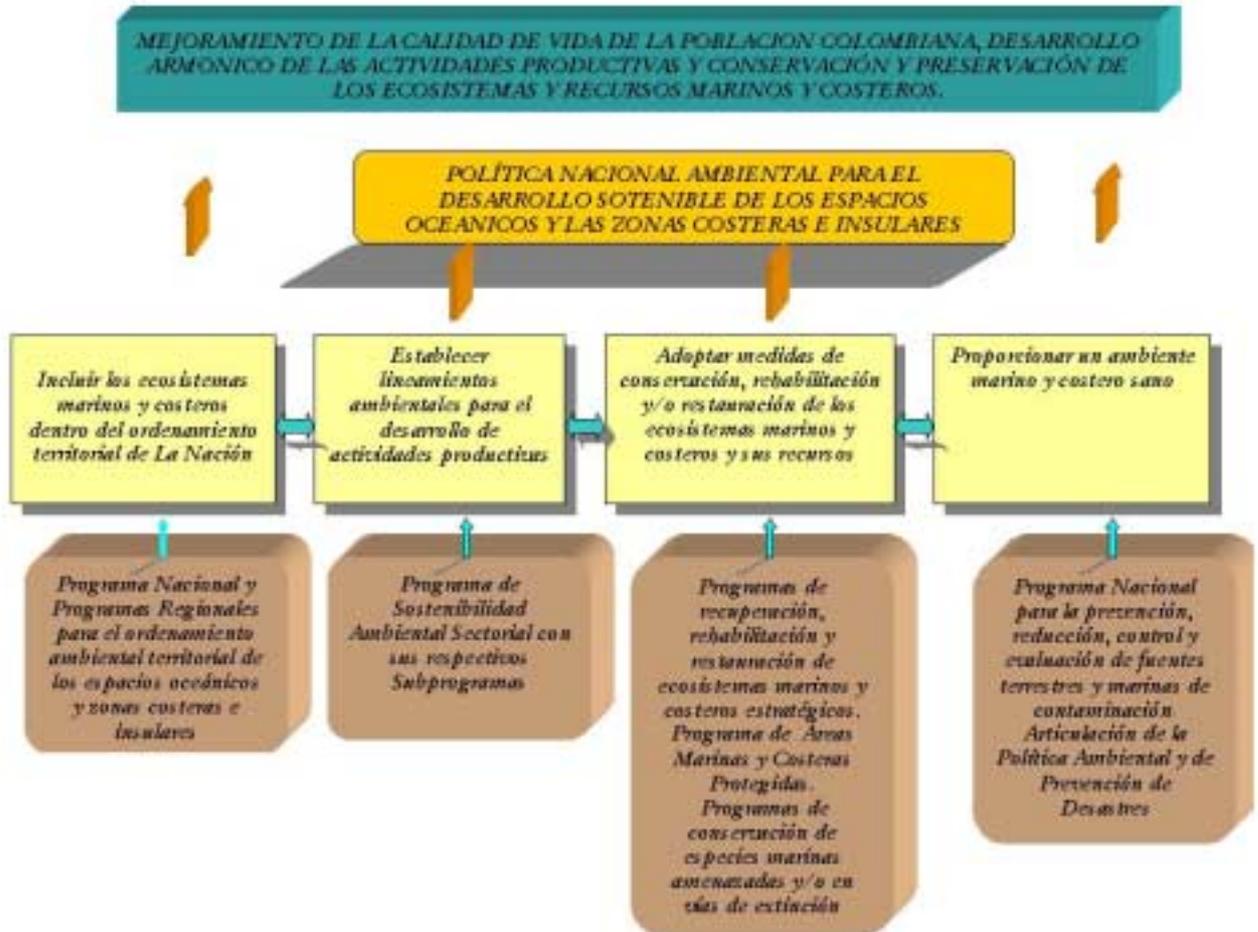
- Barreto G. M., R. Barrera, J. Benavides, E. Cardozo, H. Hernández, L. Marín, B. Posada, C. Salvatierra, P. Sierra y A. Villa. 1999. Diagnóstico Ambiental del Golfo de Morrosquillo (Punta Rada – Tolú) Una Aplicación de Sensores Remotos y SIG como Contribución al Manejo Integrado de Zonas Costeras. Curso AGS-6. 25 de noviembre de 1998 – 23 de julio de 1999.
- Bird, E. 1993. Submerging coasts: the effect of rising sea level on coastal environments. Library of Congress. England. 184 p
- Burton I. 2001. Adaptation to climate change and variability in the context of sustainable development. UNFCCC Workshop On Methodologies On Climate Change Impact and Adaptation Hotel Mont Gabriel, St. Adele, Nr. Montreal, Canada. 11 — 14 June 2001 <http://unfccc.int/>
- Carter, R. 1995. Coastal Environments: an Introduction to the Physical, Ecological and Cultural Systems of Coastlines. Academic Press. London.
- Centro Control Contaminación del Pacífico- CCCP. 1998a. Caracterización y evaluación Zona Costera del Pacífico colombiano Fase III – 1997. Departamento del Cauca. Informe Final. San Andrés de Tumaco.
- Centro Control Contaminación del Pacífico- CCCP. 1998b. CD-ROM Caracterización Zona Costera. Departamento Nariño. Diseñador: Paz, L. E. –UNINARIÑO. San Andrés de Tumaco.
- Correa I. D., J. L. González y E. Siegert. 2001. Erosión marina en el litoral Pacífico: Introducción a sus causas y consecuencias socioeconómicas. En: Geología y oceanografía del Delta del Río San Juan. Litoral Pacífico colombiano. Correa I. D. y J. D. Arango (Ed). Fondo Editorial Universidad Eafit. Medellín- Colombia. 221 p.
- Ellicott Technical Papers. 2001. Dredged Material Filled Geotubes. San Antonio River Containment Island. Buenaventura Bay, Colombia. http://www.dredge.com/casestudies/tp_geotcolo.htm
- French, P. 1997. Coastal and Estuarine Management. Routledge Environmental Management Series. London
- GTZ/FUNDECO/IE. 2001. Estrategia regional de biodiversidad para los países del Trópico Andino. II Taller Regional Conservación de ecosistemas transfronterizos y especies amenazadas. Lima, Perú, 26 al 28 de marzo de 2001. Documento temático. Convenio de cooperación técnica no reembolsable atn/jf-5887-rg. Comunidad Andina-Banco Interamericano de desarrollo. La Paz – Bolivia. 203 p.
- Hattersley R.T. y D.N. Foster. 1968. Problems of beach erosion and some solutions. Australian Civil Engineering. Vol 9. 15 p. <http://www.geocities.com/Eureka/Company/7709/playa.htm>
- Herrera O. 1998. Dragado a 14 metros canal de acceso sector Manzanillo y enrocado Fuertes de San José y San Fernando en Bocachica desde el mes de Mayo a Noviembre de 1988. Informe final. Inspectoría DIMAR-CP5. Cartagena de Indias D. T. y C. 45p +fotografías.
- INER-CIA. 1994. Plan de Desarrollo de Urabá con énfasis en lo Ambiental. Informe Final. Tomo III. Medellín. 558 p.
- INER-CIA-Universidad de Antioquia-INGEOMINAS-CORPOURABA-CORPES DE OCCIDENTE. 1994. Plan de desarrollo de Urabá con énfasis en la Ambiental. Tomo I. Medellín. 271 p.



- INVEMAR 2001. Informe del estado de los Ambientes Marinos y Costeros en Colombia: 2000. Serie de Documentos Generales No. 3. Santa Marta- Colombia . 138 p.
- IPCC CZMS, 1990: Strategies for Adaptation to Sea Level Rise. Report of the Coastal Zone Management Subgroup, Response Strategies Working Group of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Ministry of Transport, Public Works and Water Management, The Hague, The Netherlands, x+122 pp.
- Morton R., J. L. González, I. D. Correa, O. Salazar, N. Tabares, G.I. López. 2001. Causas y efectos de eventos atípicos de sobrelavado en la costa Pacífica de Colombia. En: Geología y oceanografía del Delta del Río San Juan. Litoral Pacífico colombiano. Correa I. D. y J. D. Arango (Ed). Fondo Editorial Universidad Eafit. Medellín- Colombia. 221 p.
- Nicholls R., S. Leatherman, K. Dennis y C. Volonté. 1995. Impacts and responses to sea level rise: Qualitative and Quantitative Assessments. *Journal of Coastal Research*. 14:26-43.
- Nicholls R. J. y R.J.T. Klein. 2000. Adaptation Frameworks for Sea-Level Rise Impacts SURVAS <http://www.survas.mdx.ac.uk/content.htm>
- Reinalda R. 1997. The Design of harbors in tidal areas. *Terra et Aqua. International Journal on Public Works, Ports and Waterways Development. International Association of Dredging Companies. The Hague. The Neetherlands. No. 12/13.*
- Smith, J.B., 1997. Setting priorities for adapting to climate change *Global Environmental Change*, 7, 251-264.
- Smit and O. Pilifosova. 2001. Adaptation to climate change in the context of sustainable development and equity. In J.J. McCarthy, O.F. Canzianni, N.A. Leary, D.J. Dokken and K.S. White (eds) *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability - Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press.
- USA Army Coastal and Hydraulic Laboratory. 2001. Section 227. National Shoreline Erosion Control Development and Demonstration Program. <http://limpet.wes.army.mil/sec227>

Anexo 1.

Anexo 1.1. Diagrama resumen de la PNAOCI



Instrumentos



Anexo 2.

Anexo 2.1. Costos de inversión de las estrategias de planificación proyectadas a los años 1999, 2000, 2030 y 2100.

Municipio	Inversiones Plan de desarrollo 1999	Inversiones Plan de desarrollo 2000	Plan de desarrollo 2001 (precios constantes de 2000)	Plan de desarrollo 2030 (precios constantes de 2000)*	Plan de desarrollo 2100 (precios constantes de 2000)*
Guapi	13.757.403.660	14.968.055.182	14.816.723.742	80.282.756.625	4.742.778.524.960
Cartagena	697.586.595.000	758.974.215.360	751.300.762.815	4.070.838.961.727	240.488.598.272.786
Barranquilla	1.615.425.000.000	1.757.582.400.000	1.739.812.725.000	9.426.980.215.622	556.907.625.016.526
Area del golfo de					
Morrosquillo	135.614.059.200	147.548.096.410	146.056.341.758	791.389.914.752	46.752.095.348.235
Tumaco	26.406.363.000	28.730.122.944	28.439.652.951	154.097.071.401	9.103.427.830.852
Santa Marta	999.079.210.000	1.086.998.180.480	1.076.008.309.170	5.830.230.401.603	344.426.284.132.341
Totales	3.487.868.630.860	3.794.801.070.376	3.756.434.515.436	20.353.819.321.731	1.202.420.809.125.700

* Suponiendo una tasa de inflación del 6% anual

Anexo 2.2. Costos de inversión de las estrategias de planificación Planes de Desarrollo y Planes de Ordenamiento Territorial.

Costo Planes (Planes de desarrollo y POT's)	Plan de desarrollo 2001 (precios constantes de 2000)	Plan de desarrollo 2001 US\$ mill	Costo anual Plan de desarrollo 2001 US\$mill	Plan de desarrollo 2030 US\$ mill	Costo anual Plan de desarrollo 2030 US\$mill	Plan de desarrollo 2100 US\$ mill	Costo anual Plan de desarrollo 2100 US\$mill
Guapi	14.816.723.742	6,5	0,2	35,4	1,1	2.094	62,8
Cartagena	751.300.762.815	331,7	10,0	1.797,4	53,9	106.185	3185,6
Barranquilla	1.739.812.725.000	768,2	23,0	4.162,4	124,9	245.897	7376,9
Morrosquillo	146.056.341.758	64,5	1,9	349,4	10,5	20.643	619,3
Tumaco	28.439.652.951	12,6	0,4	68,0	2,0	4.020	120,6
Santa Marta	1.076.008.309.170	475,1	14,3	2.574,3	77,2	152.078	4562,3
Buenaventura	49.063.897.049	21,7	0,6	8.987,0	269,6	530.917	15927,5
Totales	3.805.498.412.485	1.680,3	50,4	17.974,1	539,2	1.061.834,0	31.855,0

Dólar= \$2264.8

3.805.498



Anexo 3. Anexo 3.1. Costos de las medidas adicionales para cada área crítica.

	Santa Marta*	Barranquilla	Cartagena	G. Morrosquillo	Buenaventura	Guapi-Iscuande	Tumaco	Turbo
Longitud adaptación sistema vial, puentes (Km)	0,0	60,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo de adaptación sistema vial, puentes 2001 (precios constantes de 2000)	0,0	117.647.058.823,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo de mantenimiento anual sistema vial, puentes 2001 (\$ Cts de 2000)	0,0	5.882.352.941,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo de adaptación sistema vial, puentes 2001(US\$ mill)	0,0	51,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo de mantenimiento anual sistema vial, puentes 2001 (1%) (US\$ mill)	0,0	2,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo de adaptación sistema vial, puentes 2030 (precios constantes de 2000)	0,0	357.425.613.335,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo de mantenimiento anual sistema vial, puentes 2030(1%) (\$ ctes de 2000)	0,0	17.871.280.666,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo de adaptación sistema vial, puentes 2030 (US\$ mill)	0,0	157,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo de mantenimiento anual sistema vial, puentes 2030(1%) (US\$ mill)	0,0	7,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo de adaptación sistema vial, puentes 2100 (precios constantes de 2000)	0,0	4.778.186.133.649,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo de mantenimiento anual sistema vial, puentes 2100(1%) (\$ ctes de 2000)	0,0	238.909.306.682,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo de adaptación sistema vial, puentes 2100 (US\$ mill)	0,0	2.109,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo de mantenimiento anual sistema vial, puentes 2100(1%) (US\$ mill)	0,0	105,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo de adaptación sistema vial, puentes 2001 Km (precios cntes de 2000)	0,0	1.960.784.313,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo de mantenimiento anual sistema vial, puentes 2001 Km(\$ Cts de 2000)	0,0	98.039.215,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo de adaptación sistema vial, puentes 2001Km(US\$ mill)	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

	Santa Marta*	Barranquilla	Cartagena	G. Morrosquillo	Buenaventura	Guapi-Iscuande	Tumaco	Turbo
Costo de mantenimiento anual sistema vial, puentes 2001 Km(1%) (US\$ mill)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo total viviendas 2001 con 0.3 m SLR (\$ ctes de 2000)	945.083.784,6	149.383.540,7	79.823.794.323,7	47.831.838.514,5	16.421.214.975,3	3.319.852.941,2	44.080.720.201,5	102.629.961.009,7
Costo total viviendas 2001 con 1 m SLR (\$ ctes de 2000)	24.096.601.330,7	247.204.594.440,1	333.216.724.701,6	29.303.212.807,3	74.239.463.611,2	8.020.622.320,7	42.419.368.008,9	105.097.151.798,9
Costo total viviendas 2030 Op (\$ ctes de 2000)	3.539.639.437,0	559.488.883,9	298.965.504.448,0	179.145.452.196,8	61.502.674.238,0	12.433.905.424,6	165.096.320.754,3	570.230.963.606,7
Costo total viviendas 2030 Pe (\$ ctes de 2000)	3.367.187.955,2	623.053.798,2	286.708.341.179,5	173.063.178.849,6	60.125.120.947,3	11.907.100.014,7	150.907.570.666,1	532.821.228.774,3
Costo total viviendas 2100 Op (\$ ctes de 2000)	4.255.276.444.790,0	51.949.760.435.370,7	74.375.692.558.941,7	7.095.662.554.876,4	10.338.635.618.373,9	3.074.017.635.536,7	20.317.041.783.002,9	15.697.070.605.985,2
Costo total viviendas 2100 Pe (\$ ctes de 2000)	2.926.056.626.971,9	49.824.430.860.510,3	45.551.885.582.720,0	8.388.873.049.515,5	9.850.662.352.097,8	3.463.379.689.922,1	7.335.056.360.435,7	10.713.287.515.592,0
Costo total viviendas 2001 0.3 m (US\$ mill)	0,4	0,1	35,2	21,1	7,3	1,5	19,5	45,3
Costo total viviendas 2001 1 m (US\$ mill)	10,6	109,2	147,1	12,9	32,8	3,5	18,7	46,4
Costo total viviendas 2030 Op (US\$ mill)	1,6	0,2	132,0	79,1	27,2	5,5	72,9	251,8
Costo total viviendas 2030 Pe (US\$ mill)	1,5	0,3	126,6	76,4	26,5	5,3	66,6	235,3
Costo total viviendas 2100 Op (US\$ mill)	1.878,9	22.937,9	32.839,9	3.133,0	4.564,9	1.357,3	8.970,8	6.930,9
Costo total viviendas 2100 Pe (US\$ mill)	1.292,0	21.999,5	20.113,0	3.704,0	4.349,5	1.529,2	3.238,7	4.730,3
Longitud muro de contención (Km)	1,1	0,0	14,4	18,9	2,1	0,0	0,0	0,0
Costo muro de contención 2001 (\$ ctes de 2000)	193.014.705,9	0,0	2.647.058.823,5	3.477.941.176,5	386.029.411,8	0,0	5.514.705,9	0,0
Costo muro de contención 2030 (precios constantes de 2000)	586.401.396,9	0,0	8.042.076.300,0	10.566.394.694,2	1.172.802.793,8	0,0	16.754.325,6	0,0
Costo muro de contención 2100 (precios constantes de 2000)	7.839.211.625,5	0,0	107.509.188.007,1	141.255.127.576,0	15.678.423.251,0	0,0	223.977.475,0	0,0
Costo mantenimiento muro de contención 2001 (precios constantes de 2000)	9.650.735,3	0,0	132.352.941,2	173.897.058,8	19.301.470,6	0,0	275.735,3	0,0
Costo mantenimient muro de contención 2030 (precios constantes de 2000)	29.320.069,8	0,0	402.103.815,0	528.319.734,7	58.640.139,7	0,0	837.716,3	0,0
Costo mantenimient muro de contención 2100 (precios constantes de 2000)	391.960.581,3	0,0	5.375.459.400,4	7.062.756.378,8	783.921.162,6	0,0	11.198.873,8	0,0
Costo muro de contención 2001 (US \$ mill)	0,1	0,0	1,2	1,5	0,2	0,0	0,0	0,0
Costo muro de contención 2030 (US \$ mill)	0,3	0,0	3,6	4,7	0,5	0,0	0,0	0,0
Costo muro de contención 2100 (US \$ mill)	3,5	0,0	47,5	62,4	6,9	0,0	0,1	0,0
Costo mantenimiento muro de contención 2001 (US \$ mill)	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0

	Santa Marta*	Barranquilla	Cartagena	G. Morrosquillo	Buenaventura	Guapi- Iscuande	Tumaco	Turbo
Costo mantenimient muro de contención 2030 (US \$ mill)	0,0	0,0	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo mantenimient muro de contención 2100 (US \$ mill)	0,2	0,0	2,4	3,1	0,3	0,0	0,0	0,0
Costo muro de contención 2001 Km(\$ cntes de 2000)	183.823.529,4	0,0	183.823.529,4	183.823.529,4	183.823.529,4	0,0	183.823.529,4	0,0
Costo mantenimiento muro de contención 2001 Km(precios constantes de 2000)	9.191.176,5	0,0	9.191.176,5	9.191.176,5	9.191.176,5	0,0	9.191.176,5	0,0
Costo muro de contención 2001 Km(US \$ mill)	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0
Costo mantenimiento muro de contención 2001 Km(US \$ mill)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Longitud diques marinos /malecon (Km)	3,7	0,0	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo dique marino 2001 (\$ cntes de 2000)	2.840.551.071,0	0,0	2.085.787.160,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo dique marino 2030 (\$ cntes de 2000)	8.629.928.524,5	0,0	6.336.866.918,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo dique marino 2100 (\$ cntes de 2000)	115.367.794.784,7	0,0	84.713.373.946,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo mantenimiento dique marino 2001 (\$ cntes de 2000)	142.027.553,6	0,0	104.289.358,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo mantenimiento dique marino 2030 (\$ cntes de 2000)	431.496.426,2	0,0	316.843.345,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo mantenimiento dique marino 2100 (\$ cntes de 2000)	5.768.389.739,2	0,0	4.235.668.697,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo dique marino 2001 (US \$ mill)	1,3	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo dique marino 2030 (US \$ mill)	3,8	0,0	2,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo dique marino 2100 (US \$ mill)	50,9	0,0	37,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo mantenimiento dique marino 2001 (US \$ mill)	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo mantenimiento dique marino 2030 (US \$ mill)	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo mantenimiento dique marino 2100 (US \$ mill)	2,5	0,0	1,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo dique marino 2001 (\$ cntes de 2000)	776.106.850,0	0,0	970.133.563,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo mantenimiento dique marino 2001 (\$ cntes de 2000)	38.805.342,5	0,0	48.506.678,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo dique marino 2001 (US \$ mill)	0,3	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo mantenimiento dique marino 2001 (US \$ mill)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

	Santa Marta*	Barranquilla	Cartagena	G. Morrosquillo	Buenaventura	Guapi-Iscuande	Tumaco	Turbo
Longitud dique fluvial (Km)	0,0	16,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo dique fluvial 2001 (\$ cntes de 2000)	0,0	2.188.339.005,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo dique fluvial 2030 (\$ cntes de 2000)	0,0	6.648.431.494,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo dique fluvial 2100 (\$ cntes de 2000)	0,0	88.878.474.267,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo mantenimiento dique fluvial 2001 (\$ cntes de 2000)	0,0	109.416.950,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo mantenimiento dique fluvial 2030 (\$ cntes de 2000)	0,0	332.421.574,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo mantenimiento dique fluvial 2100 (\$ cntes de 2000)	0,0	4.443.923.713,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo dique fluvial 2001 (US \$ mill)	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo dique fluvial 2030 (US \$ mill)	0,0	2,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo dique fluvial 2100 (US \$ mill)	0,0	39,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo mantenimiento dique fluvial 2001 (US \$ mill)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo mantenimiento dique fluvial 2030 (US \$ mill)	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo mantenimiento dique fluvial 2100 (US \$ mill)	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo dique fluvial 2001 km (\$ cntes de 2000)	0,0	131.986.671,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo mantenimiento dique fluvial 2001 Km(\$ cntes de 2000)	0,0	6.599.333,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo dique fluvial 2001 Km(US \$ mill)	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo mantenimiento dique fluvial 2001 Km(US \$ mill)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Areas para relleno de playas (Km ²)	0,2	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo relleno de playas 2001 (\$ cntes de 2000)	118.549.267.200,0	0,0	282.612.985.200,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo relleno de playas 2030 (\$ cntes de 2000)	360.166.628.584,8	0,0	858.611.516.358,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo relleno de playas 2100 (\$ cntes de 2000)	4.814.828.949.859,6	0,0	11.478.208.300.111,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo mantenimiento relleno de playas 2001 (\$ cntes de 2000)	5.927.463.360,0	0,0	14.130.649.260,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo mantenimiento relleno de playas 2030 (\$ cntes de 2000)	18.008.331.429,2	0,0	42.930.575.817,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo mantenimiento relleno de playas 2100 (\$ cntes de 2000)	240.741.447.493,0	0,0	573.910.415.005,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

	Santa Marta*	Barranquilla	Cartagena	G. Morrosquillo	Buenaventura	Guapi-Iscuande	Tumaco	Turbo
Costo relleno de playas 2001 (US \$ mill)	52,3	0,0	124,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo relleno de playas 2030 (US \$ mill)	159,0	0,0	379,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo relleno de playas 2100 (US \$ mill)	2.125,9	0,0	5.068,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo mantenimiento relleno de playas 2001 (US \$ mill)	2,6	0,0	6,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo mantenimiento relleno de playas 2030 (US \$ mill)	8,0	0,0	19,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo mantenimiento relleno de playas 2100 (US \$ mill)	106,3	0,0	253,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo relleno de playas 2001 (\$ cntes de 2000)	529.237.800.000,0	0,0	529.237.800.000,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo mantenimiento relleno de playas 2001 (\$ cntes de 2000)	26.461.890.000,0	0,0	26.461.890.000,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo relleno de playas 2001 (US \$ mill)	233,7	0,0	233,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo mantenimiento relleno de playas 2001 (US \$ mill)	11,7	0,0	11,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Area para construcción de arrecifes artificiales (Km ²)	2,8	0,0	0,0	17,8	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo arrecifes artificiales 2001 (\$ cntes de 2000)	94.940.257,0	0,0	0,0	596.144.299,4	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo arrecifes artificiales 2030 (\$ cntes de 2000)	288.439.676,6	0,0	0,0	1.811.156.555,7	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo arrecifes artificiales 2100 (\$ cntes de 2000)	3.855.958.866,8	0,0	0,0	24.212.151.612,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo mantenimiento arrecifes artificiales 2001 (\$ cntes de 2000)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo mantenimiento arrecifes artificiales 2030 (\$ cntes de 2000)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo mantenimiento arrecifes artificiales 2100 (\$ cntes de 2000)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo arrecifes artificiales 2001 (US \$ mill)	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo arrecifes artificiales 2030 (US \$ mill)	0,1	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo arrecifes artificiales 2100 (US \$ mill)	1,7	0,0	0,0	10,7	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo mantenimiento arrecifes artificiales 2001 (US \$ mill)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo mantenimiento arrecifes artificiales 2030 (US \$ mill)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

	Santa Marta*	Barranquilla	Cartagena	G. Morrosquillo	Buenaventura	Guapi-Iscuande	Tumaco	Turbo
Costo mantenimiento arrecifes artificiales 2100 (US \$ mill)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo arrecifes artificiales 2001 Km(\$ cntes de 2000)	33.547.794,0	0,0	0,0	33.547.794,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo mantenimiento arrecifes artificiales 2001 Km(\$ cntes de 2000)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo arrecifes artificiales 2001 Km(US \$ mill)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo mantenimiento arrecifes artificiales 2001 Km(US \$ mill)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Area para formación de islas artificiales (Km ²)	0,0	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo islas artificiales 2001 (\$ cntes de 2000)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Costo islas artificiales 2030 (\$ cntes de 2000)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Costo islas artificiales 2100 (\$ cntes de 2000)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Costo mantenimiento islas artificiales 2001 (\$ cntes de 2000)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Costo mantenimiento islas artificiales 2030 (\$ cntes de 2000)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Costo mantenimiento islas artificiales 2100 (\$ cntes de 2000)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Costo islas artificiales 2001 (US \$ mill)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Costo islas artificiales 2030 (US \$ mill)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Costo islas artificiales 2100 (US \$ mill)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Costo mantenimiento islas artificiales 2001 (US \$ mill)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Costo mantenimiento islas artificiales 2030 (US \$ mill)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Costo mantenimiento islas artificiales 2100 (US \$ mill)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Costo sistemas de alerta 2001 (\$ cntes de 2000)	35.259.961,8	113.163.209,8	82.060.080,1	7.711.346,4	23.784.949,4	4.341.377,5	13.786.832,0	4.000.433,0
Costo sistemas de alerta 2030 (\$ cntes de 2000)	202.515.279,2	649.951.896,8	471.311.345,4	44.290.050,1	136.608.646,7	24.934.663,2	79.184.547,8	22.976.451,6
Costo sistemas de alerta 2100 (\$ cntes de 2000)	11.963.778.491,4	38.396.512.874,1	27.843.156.136,1	2.616.475.905,5	8.070.282.873,0	1.473.038.424,8	4.677.900.817,7	1.357.355.250,6
Costo sistemas de alerta 2001 (US \$ mill)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costo sistemas de alerta 2030 (US \$ mill)	0,1	0,3	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
Costo sistemas de alerta 2100 (US \$ mill)	5,3	17,0	12,3	1,2	3,6	0,7	2,1	0,6

Anexo 3.2. Costos de las medidas adicionales tomadas a nivel nacional. Tasa Real de proyección = 3.774%. Dólar = \$2264.8

Medidas	Costos
Apoyo a investigación 2001(\$ cntes de 2000)*	40.901.415.441,2
Apoyo a investigación 2030(\$ cntes de 2000)*	234.916.918.546,1
Apoyo a investigación 2100 (\$ cntes de 2000)*	13.877.935.477.882,8
Apoyo a investigación 2001(US \$)*	18,1
Apoyo a investigación 2030(US \$)*	103,7
Apoyo a investigación 2100 (US \$)*	6.127,7