

# LINEAMIENTOS PARA EL MANEJO DE LA DINÁMICA DE EROSIÓN DE PLAYAS

Caribe Mexicano  
2017



@Fernando Secaira / TNC

MSC. FERNANDO SECAIRA Y DR. MIGUEL ÁNGEL DELGADILLO





# LINEAMIENTOS PARA EL MANEJO DE LA DINÁMICA DE EROSIÓN DE PLAYAS

Caribe Mexicano  
**2017**



MSC. FERNANDO SECAIRA Y DR. MIGUEL ÁNGEL DELGADILLO

## AUTORES

**Msc.Fernando Secaira Fajardo-** The Nature Conservancy  
**Miguel Ángel Delgadillo**

## DISEÑO EDITORIAL

Karla Paola Vazquez Mendoza

## FOTO PORTADA

@ Fernando Secaira

## FOTO CONTRAPORTADA

Arcelia Romero

## CITA

Secaira Fajardo, Fernando y Miguel Angel Delgadillo. 2018. Lineamientos para el manejo de la dinámica de erosión de playas el Caribe mexicano. The Nature Conservancy. 47 p.

ESTA PUBLICACIÓN ES PARTE DE LA INICIATIVA DE  
RESILIENCIA COSTERA PARA MEXICO,  
THE NATURE CONSERVANCY.

Dirección en México: Fernando Secaira  
Especialista en Restauración: Calina Zepeda  
Asistente: María Macías.  
Dirección Global: Mark Way.  
Manejo de proyecto: Bess Tassoulas.

Esta publicación fue producida con el apoyo financiero de Swiss  
Re Foundation y The Nature Conservancy (TNC).



## CONTRIBUCIONES

Este documento se basa en las recomendaciones e insumos aportados por investigadores del Instituto de Ciencias del Mar de UNAM, Instituto de Ingeniería de UNAM, Departamento de Oceanografía Física de CINVESTAV-Mérida, CONANP, INAPESCA y The Nature Conservancy en reuniones de consulta en agosto 2015 y mayo y diciembre 2016, sin quienes este documento no hubiera sido posible:

- **Dra. Claudia Padilla Souza**  
CRIP Puerto Morelos, INAPESCA
- **M. en C. Rosa Elisa Rodríguez**  
Unidad Académica de Sistemas Arrecifales, ICMYL, UNAM
- **Dra. Anastazia Banaszak**  
Unidad Académica de Sistemas Arrecifales, ICMYL, UNAM
- **Dr. Paul Blanchon**  
Unidad Académica de Sistemas Arrecifales, ICMYL, UNAM
- **Dr. Lorenzo Alvarez Filip**  
Unidad Académica de Sistemas Arrecifales, ICMYL, UNAM
- **Dr. Ismael Mariño**  
Oceanografía física, CINVESTAV, Mérida
- **M. en C. María del Carmen García**  
Parque Nacional Arrecifes de Puerto Morelos, CONANP
- **Dra. Vanessa Francisco**  
Parque Nacional Arrecifes de Puerto Morelos, PNUD / CONANP
- **Dr. Alec Torres**  
Instituto de Ingeniería, UNAM
- **Dr. Rodolfo Silva**  
Instituto de Ingeniería, UNAM
- **Dr. Edgar Mendoza**  
Instituto de ingeniería, UNAM
- **Dr. Cecilia Enríquez**  
Oceanografía y Procesos Costeros, Facultad de Ciencias, UNAM
- **M. en C. Miguel García Salgado**  
OCEANUS, A.C.
- **M. en C. Gabriela Nava**  
OCEANUS, A.C.
- **Biol. Calina Zepeda**  
Iniciativa de Resiliencia Costera, TNC

# CONTENIDO

## 1

OBJETIVO Y  
UTILIDAD DE LOS  
LINEAMIENTOS

## 2

CONCEPTOS  
BÁSICOS DE  
DINÁMICA COSTERA

## 3

PREGUNTAS CLAVE  
PARA ATENDER EL  
PROBLEMA DE LA  
EROSIÓN COSTERA

## 4

PRINCIPIOS DEL  
PROCESO DE DISEÑO  
PARA EL MANEJO  
DE LA EROSIÓN  
COSTERA

## 5

PROCESO DE  
ANÁLISIS Y  
PLANEACIÓN

## 6

REFERENCIAS  
BIBLIOGRÁFICAS

|    |                                                                                      |    |    |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------|----|----|
| 2  |                                                                                      | 3  | 9  |
|    | Las playas y dunas<br>costeras son dinámicas                                         | 3  |    |
|    | La dinámica de playas y<br>dunas está determinada<br>por varios tipos de<br>factores | 4  |    |
|    | Los sistemas naturales<br>influyen en la dinámica<br>costera                         | 6  |    |
| 11 |                                                                                      | 18 | 40 |
|    | <b>Fase I:</b> Planteamiento<br>y caracterización de la<br>erosión costera           | 20 |    |
|    | <b>Fase II:</b> Caracterización<br>de la zona costera                                | 22 |    |
|    | <b>Fase III:</b> Determinar las<br>causas del problema y<br>emitir diagnóstico       | 30 |    |
|    | <b>Fase IV:</b> Determinar el<br>objeto de la intervención                           | 33 |    |
|    | <b>Fase V:</b> Evaluar las<br>intervenciones y<br>seleccionar propuesta              | 36 |    |





# LINEAMIENTOS PARA EL MANEJO DE LA DINÁMICA DE EROSION DE PLAYAS EN EL CARIBE MEXICANO

El proceso erosivo que tienen muchas de las playas del Caribe afecta la industria del turismo y a las comunidades que habitan la zona costera. Las autoridades y empresarios turísticos han invertido millones de pesos en proyectos para evitar la erosión costera, ya sea buscando la reducción de la energía del oleaje o mediante el traslado de arena para recuperar playas. Sin embargo, muchos de estos proyectos han tenido efectos contraproducentes, provocando erosión en otros lugares, no son atractivos visualmente al turismo, han provocado la oposición de expertos y pobladores por su impacto en los ecosistemas costeros. En otros casos son soluciones temporales y en poco tiempo la arena depositada vuelve a erosionarse. Generalmente estos proyectos no han identificado la causa de la erosión costera, y menos aún intentado atenderla, por lo que las soluciones son paliativas ya que el origen del problema continúa.



# 1

## OBJETIVO Y UTILIDAD DE LINEAMIENTOS

El objetivo del documento es brindar los lineamientos para el diseño de propuestas de intervención para reducir o manejar la erosión costera que sean efectivas y con un impacto ambiental aceptable. Además de guiar a los diseñadores de proyectos, los lineamientos podrán ser utilizados por las autoridades responsables para evaluar si una propuesta de intervención incluye la información necesaria, responde a la dinámica costera y atiende realmente la causa del problema. Las autoridades deberán confirmar que los pasos recomendados por los expertos fueron considerados y así emitir un dictamen bien sustentado.

Los lineamientos incluyen:

### Conceptos básicos del comportamiento de la zona costera

Comprende una breve descripción del funcionamiento de la zona costera, como base y justificación de los principios y los pasos del proceso de diseño de propuestas.

### Principios básicos a tomar en cuenta en el proceso

Explica los tres principios que debe considerar el proceso de diseño de una propuesta de intervención para la reducción o manejo de la erosión costera.

### Preguntas clave

Una serie de preguntas que el diseñador debe responder para poder proponer intervenciones orientadas a atender el origen del problema y no soluciones paliativas.

### Proceso de diseño

Describe los pasos que deben seguirse, la información y los análisis requeridos o recomendados, para desarrollar una propuesta de intervención.

Este documento sirve para diseñar una “propuesta de intervención.” En este documento, una propuesta de intervención consiste en un concepto bien definido de las acciones que se recomiendan implementar de acuerdo con el objetivo deseado. Posteriormente, especialistas en cada una de las acciones recomendadas deberán de desarrollar un proyecto ejecutivo el cual abarca aspectos tales como dimensiones precisas, materiales, métodos de construcción o ejecución, costos, y duración, entre otros.



## 2

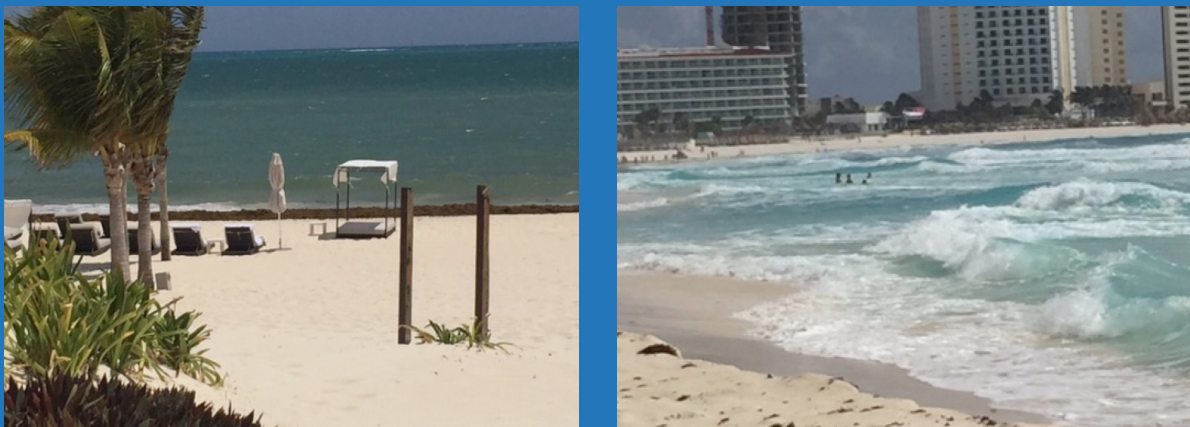
### CONCEPTOS BÁSICOS DE DINÁMICA COSTERA

Es esencial comprender como funciona la zona costera para poder dar soluciones que respondan a dicho funcionamiento. A continuación, se explican tres conceptos básicos que todo diseñador debe incorporar.

#### 2.1 Las playas y dunas costeras son dinámicas

Las playas están en un constante proceso de deposición de arena (acreción) y remoción de arena (erosión) determinado principalmente por la energía incidente de las olas y por la fuente de sedimentos.

- Las playas presentan distintos procesos y ciclos de acreción y erosión. Es un proceso constante, pues las olas simultáneamente depositan arena y remueven arena de una playa. Ciclos diarios, provocados por los cambios en las mareas; ciclos anuales, debido a vientos estacionales como nortes y suradas; ciclos multi-anuales o bien como resultado de procesos episódicos (e.g. ciclones tropicales y nortes, cada uno con condiciones energéticas propias). Por lo tanto, el ancho de las playas aumenta y disminuye en respuesta a estos ciclos.
- Hay playas que no están en equilibrio y presentan tendencias hacia la erosión o hacia la acreción en el plazo largo debido al dominio de ciertos factores.
- En un sistema de duna-playa el sedimento es transportado por las olas y las corrientes marinas. Es importante determinar cuál es el balance entre la entrada y salida de sedimento, para reconocer la condición del sistema, es decir, si existe un déficit o un superávit sedimentario.

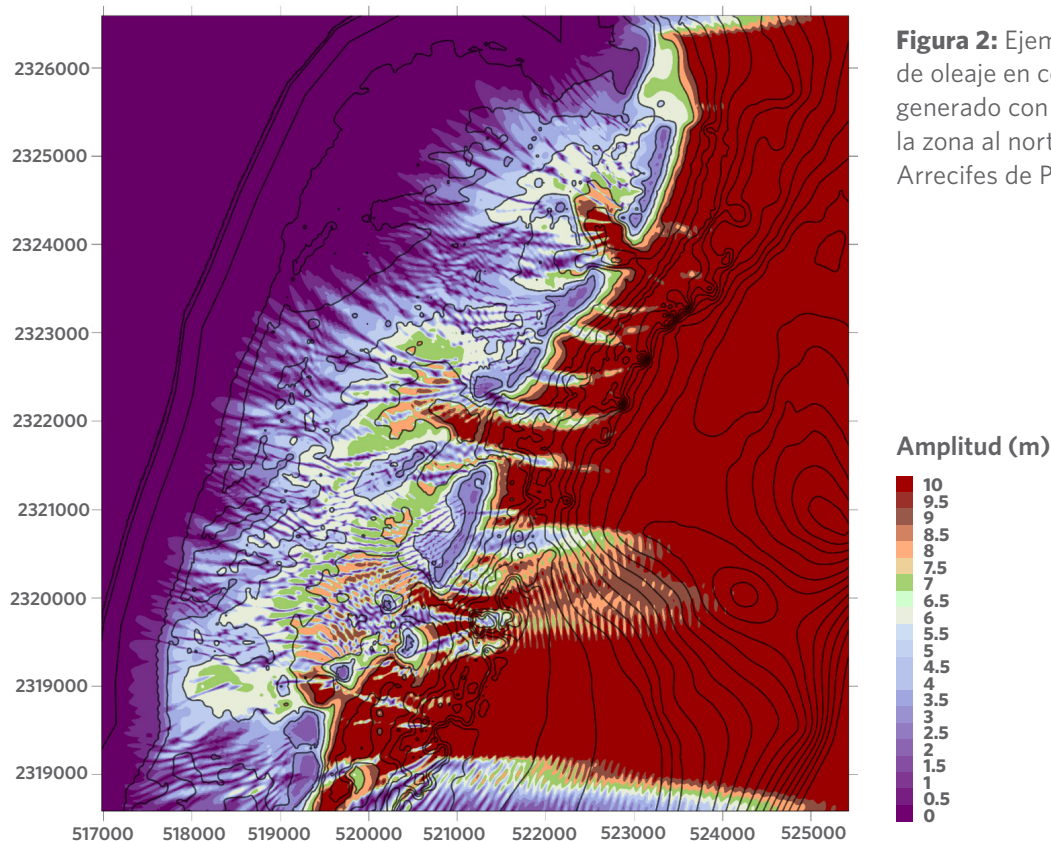


**Figura 1:** Comparación de la energía del oleaje entre Puerto Morelos, parte de una bahía arrecifal, y Cancún, zona expuesta a mar abierto.

## 2.2 La dinámica de las playas y dunas está determinada por varios tipos de factores

El proceso de deposición y remoción de arena es determinado principalmente por a) la energía incidente de las olas, b) las características físicas del sistema, c) el tipo de sedimentos y d) ubicación y condición de los ecosistemas.

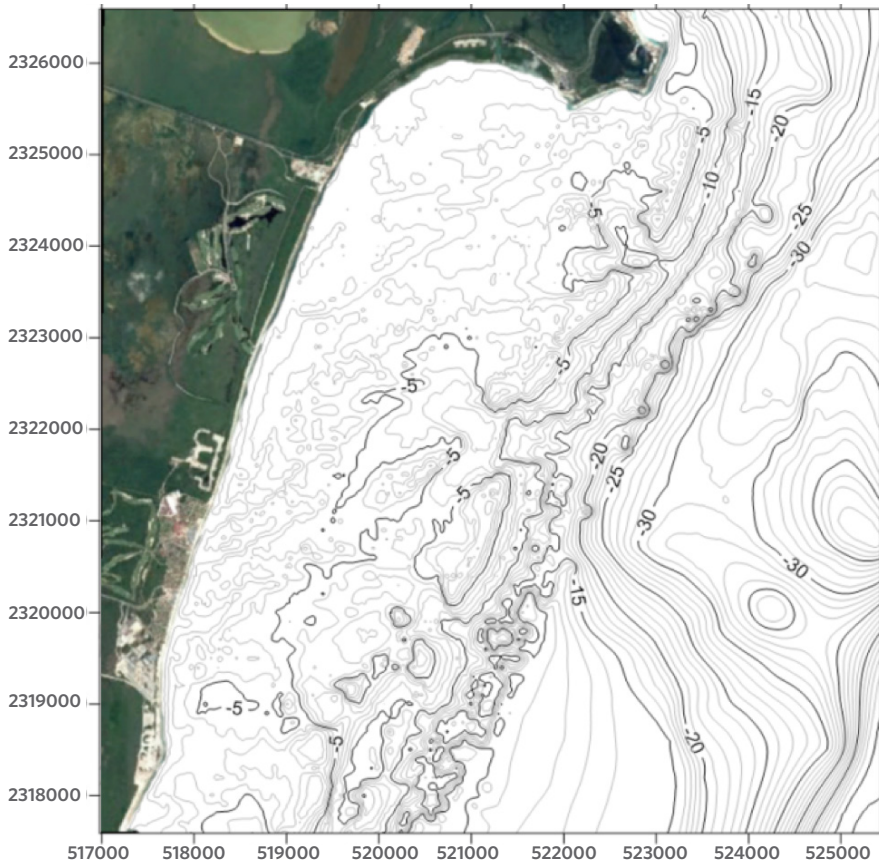
**a. La energía incidente de las olas** es el resultado de varios factores como la energía del viento lejano y el viento local, y su dirección.



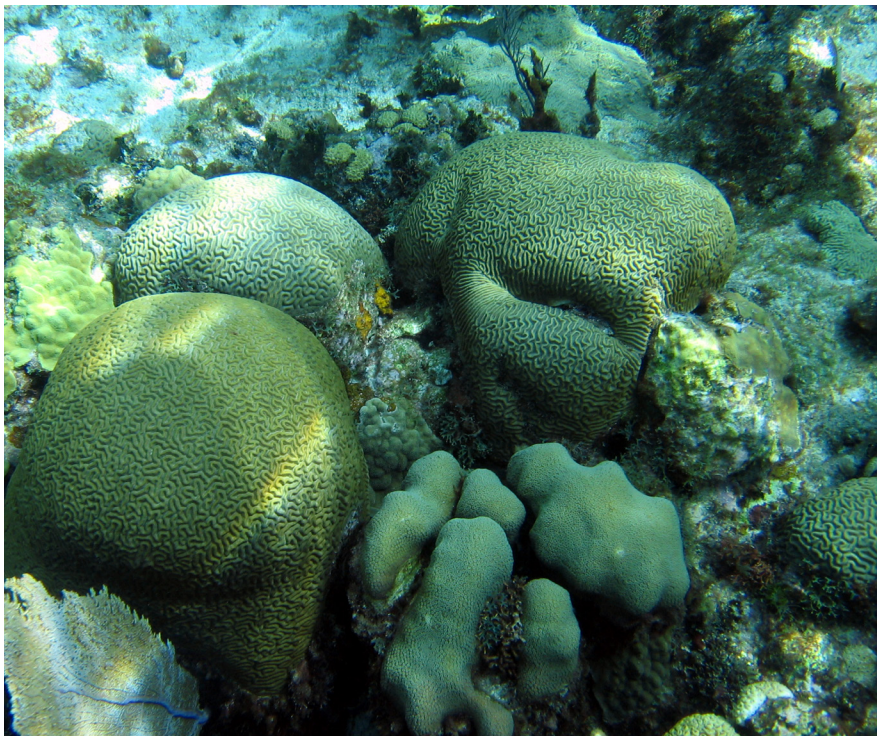
**b. Características físicas del sistema:** la energía incidente del oleaje, al acercarse a la costa y llegar a la playa, es modificada y determinada por:

- Batimetría y topografía, considerando la profundidad y las distancias entre mar profundo, la costa y obstáculos existentes.
- Forma y materiales de la costa: bahías, playas arenosas o rocosas, etc.
- Tipo de fondo: arenoso, rocoso, arrecifes, pastos marinos, etc.
- Estructuras artificiales: muelles, escolleras, diques, los cuales disipan la energía del oleaje, modifican las corrientes y el transporte y la disponibilidad de sedimentos.
- Distancia de recomposición del oleaje o "fetch distance", entre un obstáculo como una isla o arrecife, y la playa.





**Figura 3:** Batimetría de la zona costera de al sur Punta Nizuc, Cancún, Quintana Roo.



**Figura 4:** Corales productos de arena.

**c. Sedimentos:** los aspectos que determinan si los sedimentos son transportados, depositados, almacenados o puestos en suspensión por las olas y el viento y su disposición son:

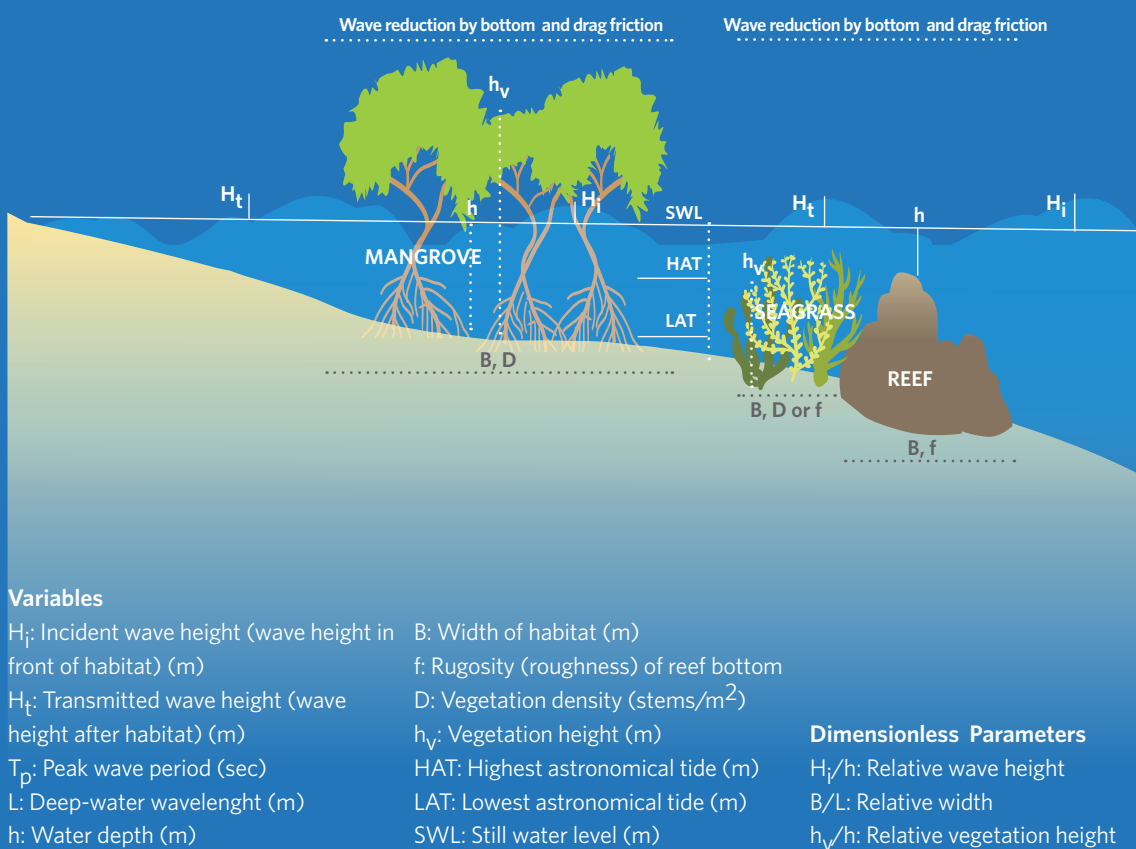
- La cantidad o volumen de sedimento disponible.
- El tipo de sedimento: su tamaño, peso, cohesión.
- El origen del sedimento como bentónico, erosivo o biogénico.

La arena que conforma las playas del Caribe Mexicano es de origen biogénico, producido durante miles de años por la degradación de organismos vivos marinos, como corales, conchas, caracoles y peces. En particular los corales aportan sedimentos, tanto al ser rotos por las tormentas como al ser devorados por peces.



## 2.3 Los sistemas naturales influyen en la dinámica costera

Los arrecifes, pastos marinos, dunas costeras y manglares influyen decisivamente en los factores que determinan la energía del oleaje incidente. Por lo tanto, la ubicación, estado de conservación, cambios en su condición, extensión y tipo de arrecifes, pastos marinos y dunas, son factores determinantes de la dinámica costera. A medida que se degradan los ecosistemas, cambia su función y, por lo tanto, cambian las condiciones hidrodinámicas de todo el sistema.



**Figura 5:** Esquema de los factores que determinan el efecto de los sistemas naturales en la reducción de la altura de la ola.  
Fuente: Narayan et al 2016.

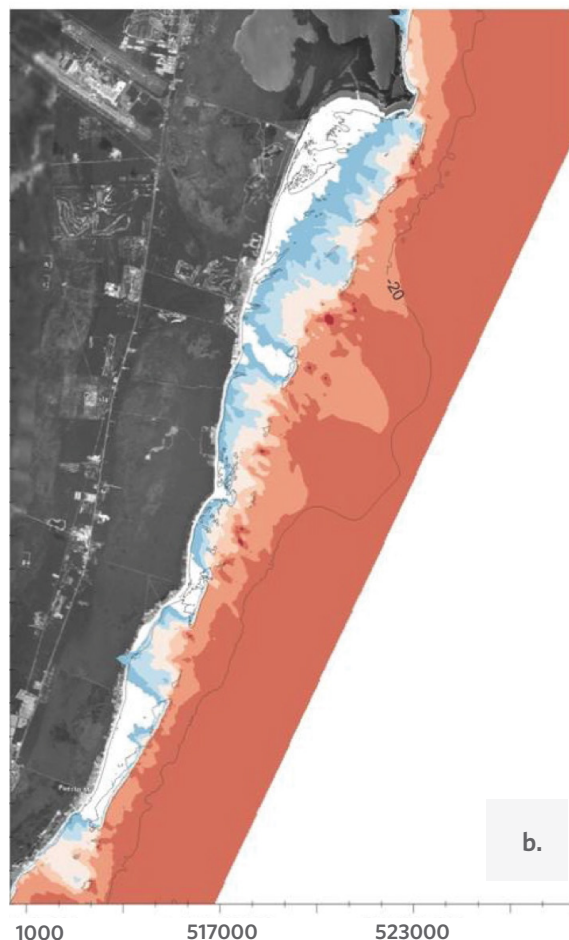
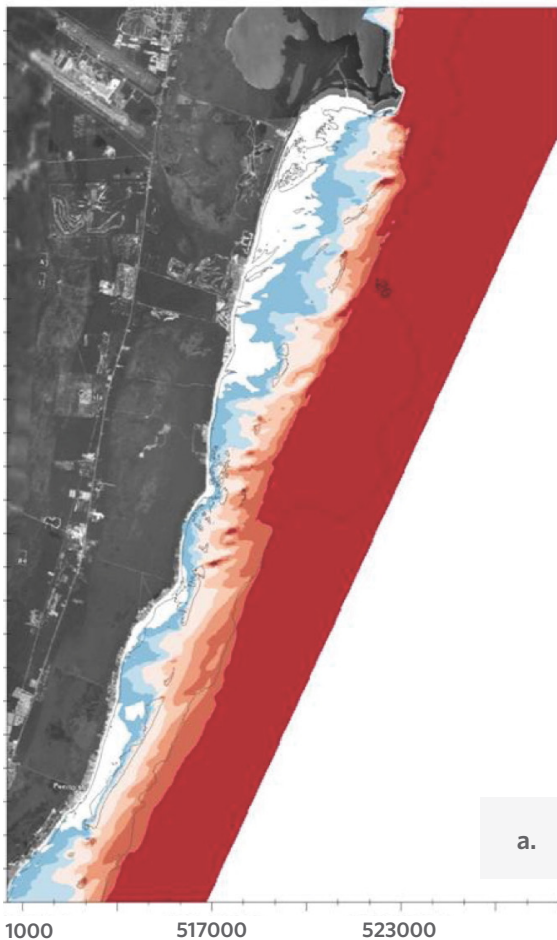
**Figura 6:** Fotografía del oleaje rompiendo sobre la cresta arrecifal en el Parque Nacional Arrecifes de Puerto Morelos. Fotografía: Ismael Mariño, CINVESTAV



a.

#### Los arrecifes de coral:

- Los arrecifes forman barreras y obstáculos e influyen decisivamente en la batimetría de las lagunas arrecifales. La barrera arrecifal forma un obstáculo natural que absorben la energía del oleaje. En la figura 7 se puede observar como la altura de ola significativa en mar abierto supera el metro, y al romper sobre la cresta arrecifal es reducida.
- Los corales determinan la rugosidad y complejidad de dichos obstáculos
- Las características geométricas, de complejidad y rugosidad de los arrecifes son determinantes en el flujo de energía del oleaje hacia la costa y como transporta el sedimento.
- Los corales son fuente de sedimento por sí mismos. La erosión de sus esqueletos ha contribuido significativamente a las arenas del Caribe.



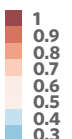
**Figura 7:** Modelación de la altura de ola significativa por el efecto de la cresta arrecifal del Parque Nacional Arrecifes de Puerto Morelos y Punta Nizuc

**a.** Vientos del noreste,

**b.** Vientos de sureste, dominantes a lo largo del año

Fuente: Mariño, I, y Acevedo, C., 2017

Altura de ola  
significante (m)



## b. Dunas costeras

Las dunas absorben la energía del oleaje bajo condiciones normales, nortes y suradas, reduciendo su capacidad de transporte de sedimentos.

- Las dunas amortiguan la energía del oleaje en eventos extremos como huracanes, reduciendo la inundación tierra adentro, especialmente cuando no han sido alteradas y mantienen su altura, ancho y pendiente.
- La vegetación de duna reduce la erosión provocada por el viento. También ayuda a captar arena que el viento levanta de la playa.
- Las dunas costeras son reservas de arena, que son erosionadas en eventos extremos como suradas o huracanes, depositándose dicha arena en una barra frente a la costa. La arena depositada en la barra es posteriormente retornada a la playa por el oleaje bajo condiciones normales. Por lo tanto, es esencial conservar la morfología de la duna para mantener el balance erosión-acreción, tanto para ciclos cortos como ante eventos extremos.



**Figura 8:** Dunas costeras prístinas en Costa Maya, Quintana Roo. Fernando Secaira, TNC.

## c. Pastos marinos

- Los pastos retienen y almacenan arena con sus raíces y hojas, y también son un reservorio en caso de tormentas.
- Los pastos producen sedimento, aunque existen pocos estudios para determinar la magnitud de su contribución en el Caribe.
- Son la superficie dominante en las lagunas arrecifales, reduciendo el oleaje comparado con superficies arenosas.
- Disminuyen la presencia de patógenos en las aguas favoreciendo la salud de los corales.



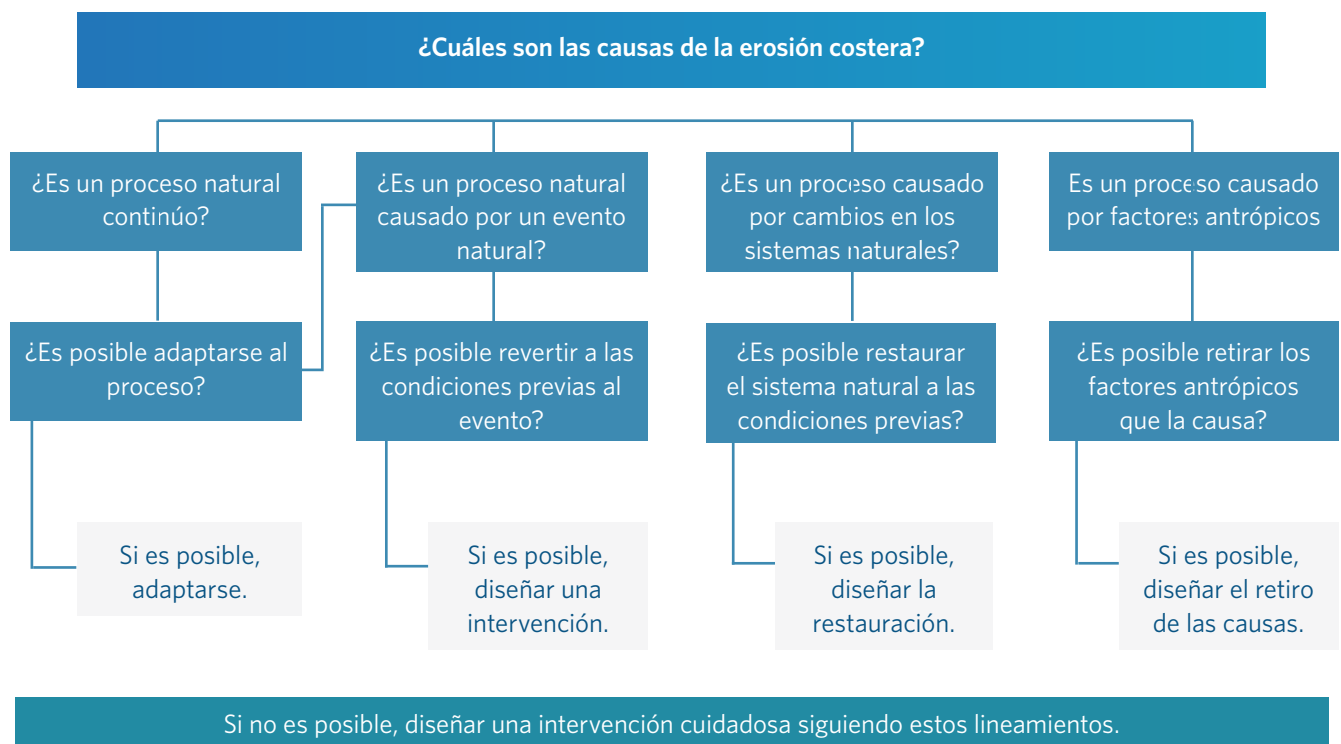
**Figura 9:** Pastos marinos en Puerto Morelos. Bess Tassoulas, TNC.



# 3

## PREGUNTAS CLAVE PARA ATENDER EL PROBLEMA DE EROSIÓN COSTERA

Cualquier proceso para diseñar una propuesta de intervención para reducir la erosión debe iniciar con la pregunta **¿Cuáles son las causas de la erosión costera?** Para proponer una solución a un problema se debe comprender cuál es la causa del problema. Luego de haber identificado las causas, debe analizarse si es posible adaptarse a la nueva condición. No debe asumirse que detener la erosión es la única opción. Finalmente se procede a determinar el tipo de intervención, ya sea adaptación o la atención de la causa de la erosión. Si ninguna es posible, entonces identificar una acción paliativa.



**Figura 10:** Flujo de preguntas clave para decidir una intervención para el manejo de la erosión.

Hay que considerar todo el abanico de posibles causas de la erosión costera, naturales o antrópicas, tales como:

- a. El proceso erosivo natural de las playas, debido a la energía del oleaje que recibe y al balance negativo entre el arribo y retiro de sedimentos.
- b. Cambios oceanográficos recientes, como el aumento en el nivel del mar y mayor frecuencia e intensidad de tormentas, lo cual produce mayor energía del oleaje.
- c. Cambios físicos, geomorfológicos o batimétricos, provocados por un huracán, una inundación, la apertura de una boca, etc.
- d. Cambios físicos en la geomorfología de la playa y la laguna costera, por la instalación de estructuras en la costa, etc., que modificaron las corrientes y la energía del oleaje.
- e. Alteración o degradación de ecosistemas (arrecifes, pastos marinos, dunas, manglares) puede cambiar la hidrodinámica de la zona, provocando mayor energía del oleaje y menor plasticidad de la duna.
- f. Disminución de las fuentes de sedimento, por degradación de los arrecifes, o han sido alteradas por estructuras artificiales que cambian las corrientes.
- g. Técnicas inadecuadas para la limpieza de playas las cuales han retirado arena y materia orgánica que da cohesión a la arena y la vegetación de duna costera.

# 4

## PRINCIPIOS DEL PROCESO DE DISEÑO PARA EL MANEJO DE LA EROSIÓN COSTERA

Los expertos proponen tres principios en el proceso de diseño de proyectos para el manejo de la erosión que responden a la dinámica costera. Para muchos profesionales resultarán evidentes, pero en demasiados proyectos, a pesar de la complejidad de la dinámica costera y los factores que la determinan, no los toman en cuenta: consideran las playas como zonas poco dinámicas, que no cambian a lo largo de un año o de los años, que no están influenciadas por lo que características físicas afuera del área de planeación, y no toman en cuenta la relación de la erosión con las condiciones de los ecosistemas, cercanos o no.

Los tres principios son:

**Realizar un análisis integral de todos los factores que determinan la dinámica costera.**

**Considerar una escala espacial geográfica adecuada para comprender el funcionamiento del sistema**

**Considerar una escala temporal adecuada para poder identificar tendencias y eventos extremos**



# 1

## Realizar un análisis integral de todos los factores que determinan la dinámica costera.

Los factores que comúnmente se analizan en el diseño de intervenciones costeras son oceanográficos. Sin embargo, también se deben considerar los ecosistemas, otras estructuras, la disponibilidad y tipo de sedimentos, los cuales son determinantes en la dinámica costera, como se indicó previamente.

### Condiciones oceanográficas

Como clima, oleaje, corrientes, nivel del mar, batimetría y topografía.

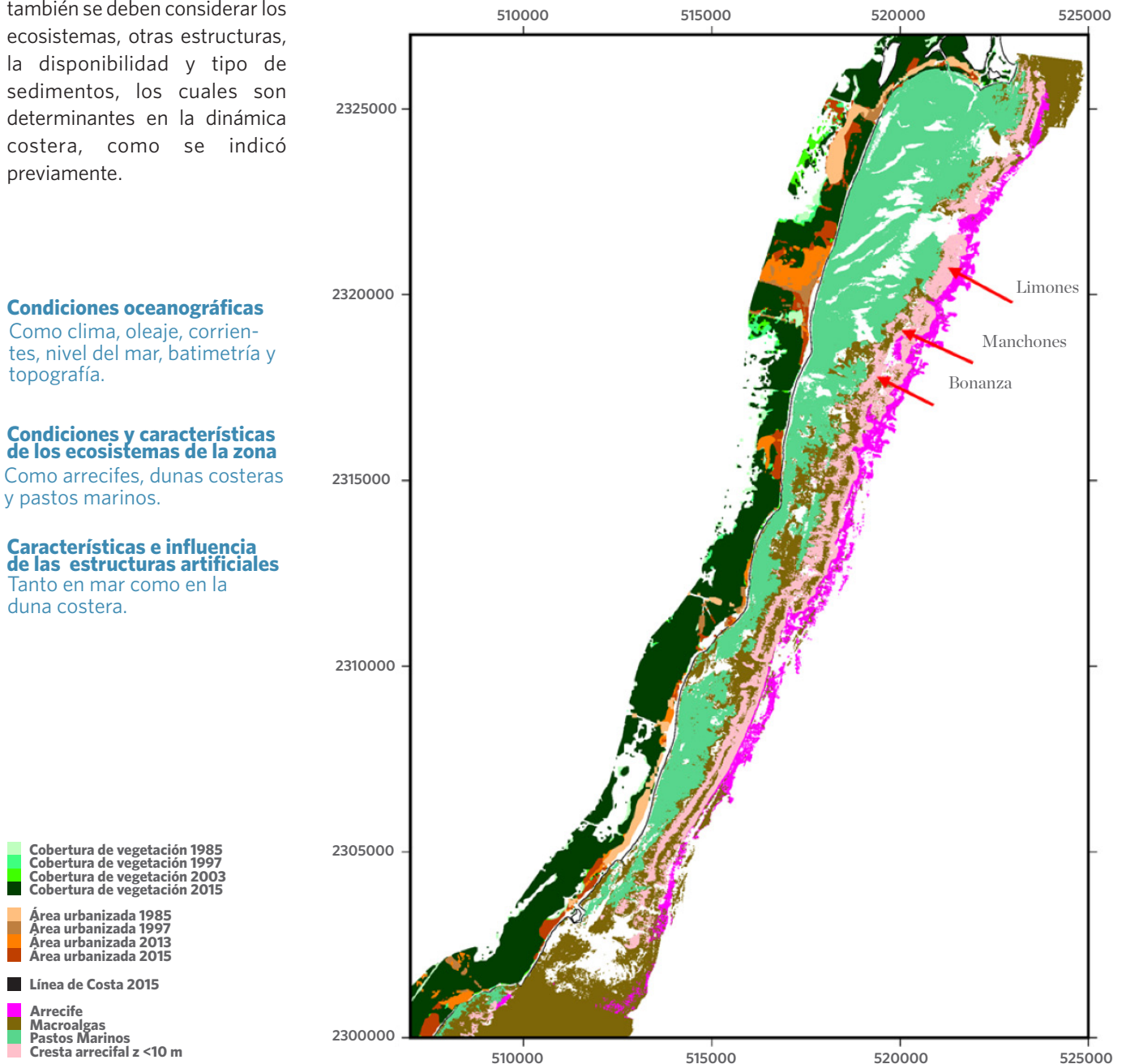
### Condiciones y características de los ecosistemas de la zona

Como arrecifes, dunas costeras y pastos marinos.

### Características e influencia de las estructuras artificiales

Tanto en mar como en la duna costera.

**Figura 11:** Ecosistemas costeros y cambios del uso del suelo en la duna, en el Parque Nacional Arrecifes de Puerto Morelos. Fuente: uso del suelo (elaboración propia), ecosistemas costeros (Conabio 2017), arrecifes (Conabio 2017)



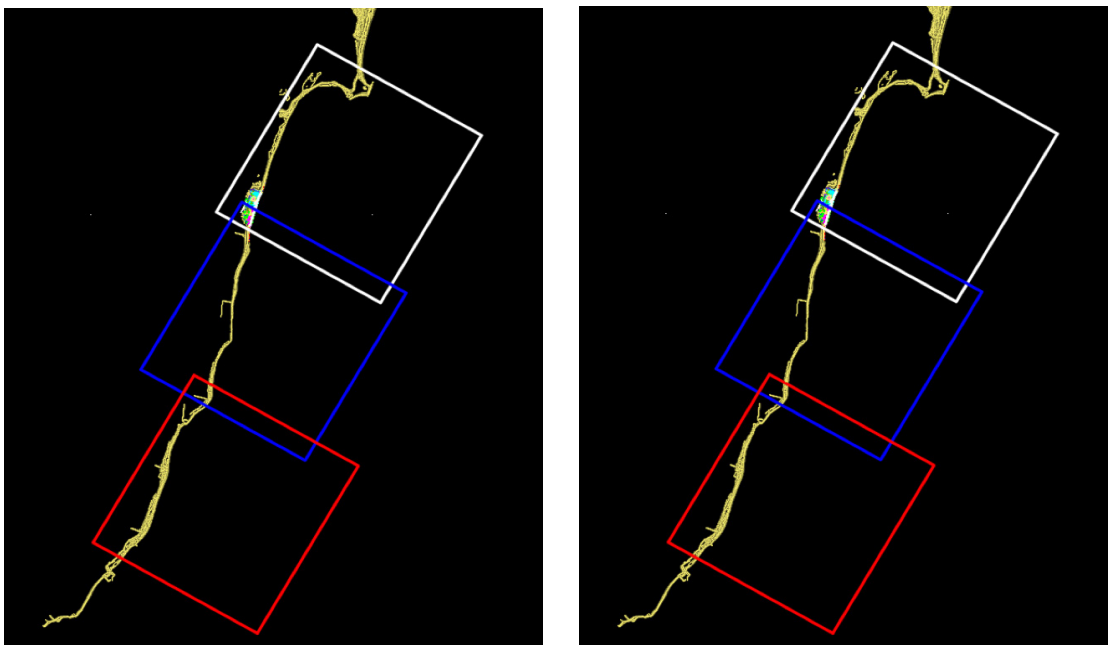
## 2 Considerar una escala espacial geográfica adecuada para comprender el funcionamiento del sistema.

Las corrientes marinas son afectadas por estructuras naturales o artificiales y por la batimetría local y distante. El suministro de sedimentos para las playas proviene de otras zonas. La intervención en un sitio debe tomar en cuenta si el suministro ha sido alterado. Por lo tanto, la escala espacial del análisis debe incluir los más posible esos factores distantes para identificar bien los factores que determinan la hidrodinámica local. Generalmente se analiza la celda litoral o el compartimento litoral.

En un estudio realizado para el Parque Nacional Arrecifes de Puerto Morelos se separó la zona de estudio en 3 sectores (mallas o dominios) con el objetivo de cubrir la totalidad de la región y tener una aceptable eficiencia computacional durante las simulaciones. El modelo utilizó 3 mallas y 3 simulaciones para cubrir la zona (ver figura 13). Cada malla se traslapa 960 m con la malla vecina para evitar las inestabilidades del modelo en las fronteras laterales. Las mallas están rotadas 30° para evitar inestabilidad en las fronteras por oleaje incidiendo con ángulos cercanos a los 90°, situación que se presentaría al simular Nortes y Suradas.



**Figura 12:** Zona de estudio, Punta Nizuc – Puerto Morelos.

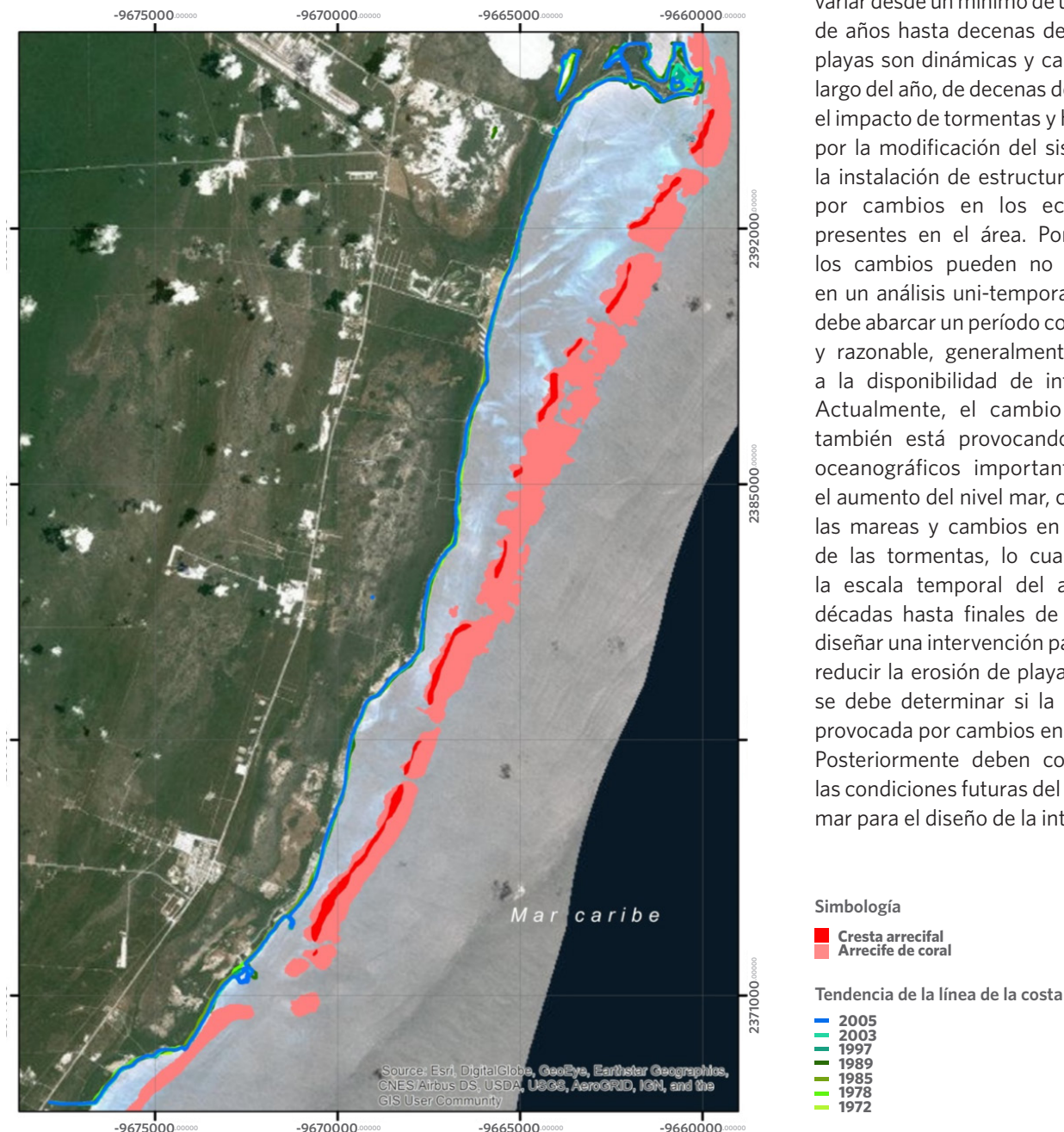


**Figura 13:** Mallas para utilizar el modelo WAPO y poder abarcar toda el área de estudio de la zona Punta Nizuc - Puerto Morelos.

3

Considerar una escala temporal adecuada para poder  
identificar tendencias y eventos extremos.

Tendencias de línea de costa Punta Nizuc a Puerto Morelos



La escala temporal del análisis puede variar desde un mínimo de una decena de años hasta decenas de años. Las playas son dinámicas y cambian a lo largo del año, de decenas de años, por el impacto de tormentas y huracanes, por la modificación del sistema, por la instalación de estructuras, o bien, por cambios en los ecosistemas presentes en el área. Por lo tanto, los cambios pueden no estudiarse en un análisis uni-temporal sino que debe abarcar un período considerable y razonable, generalmente limitado a la disponibilidad de información. Actualmente, el cambio climático también está provocando cambios oceanográficos importantes, como el aumento del nivel mar, cambios en las mareas y cambios en la energía de las tormentas, lo cual aumenta la escala temporal del análisis de décadas hasta finales de siglo para diseñar una intervención para evitar o reducir la erosión de playas, primero se debe determinar si la erosión es provocada por cambios en el pasado. Posteriormente deben considerarse las condiciones futuras del clima y del mar para el diseño de la intervención.

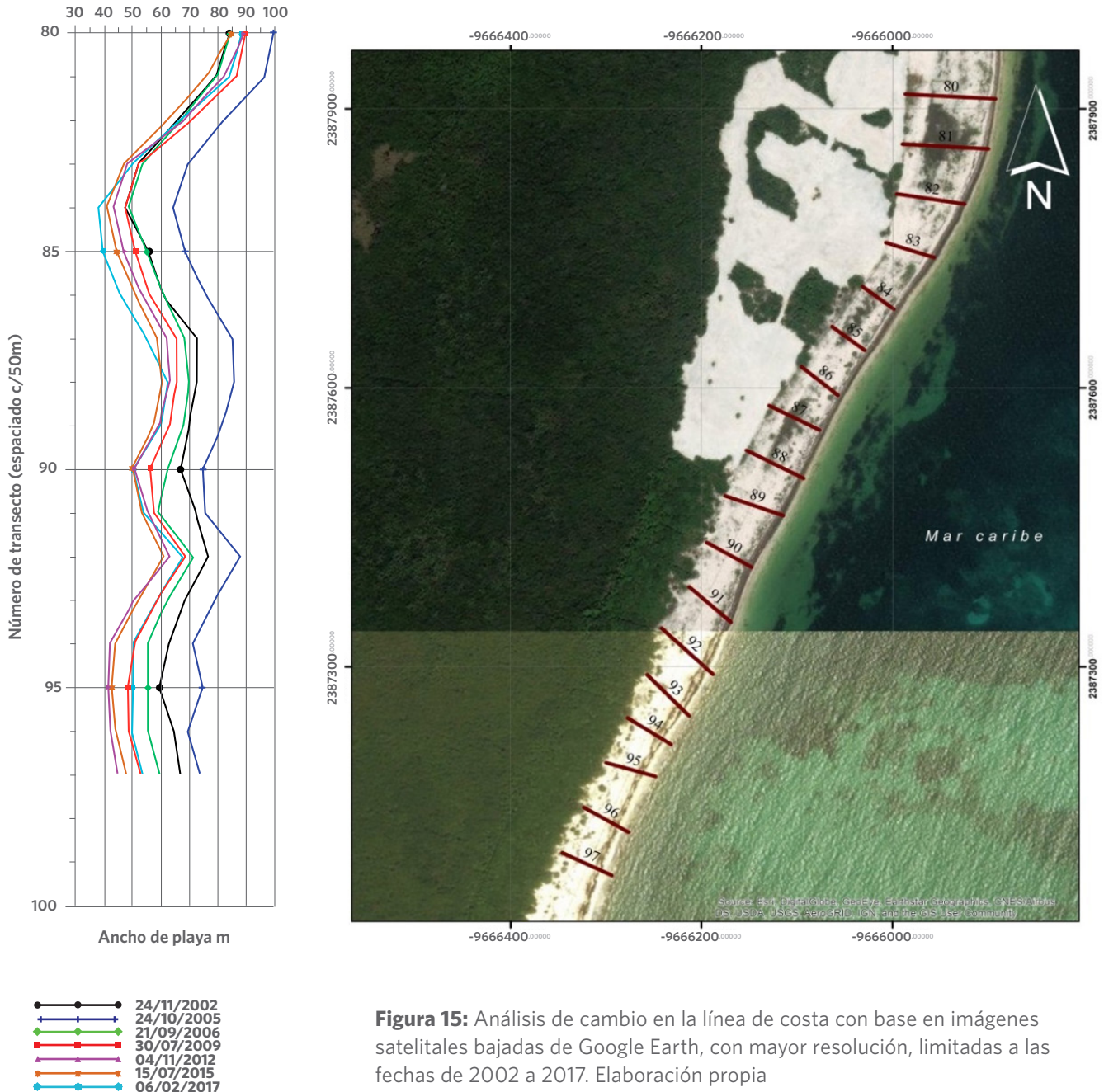
**Figura 14:** Análisis de cambio en la línea de costa con imágenes satelitales de 1972 al 2015



En el caso del Parque Nacional Arrecifes de Puerto Morelos, el primer análisis de cambio en la línea de costa utilizó imágenes satelitales de 1972 a la fecha (figura 14). Sin embargo, la resolución de las imágenes es muy gruesa para estudiar los cambios y determinar una tendencia, por lo que se realizó un segundo análisis con imágenes de mayor resolución, de 2002 a la fecha (figura 15). Se analizó únicamente la zona norte del Parque debido a limitaciones en los recursos y tiempo para analizar todo el Parque.

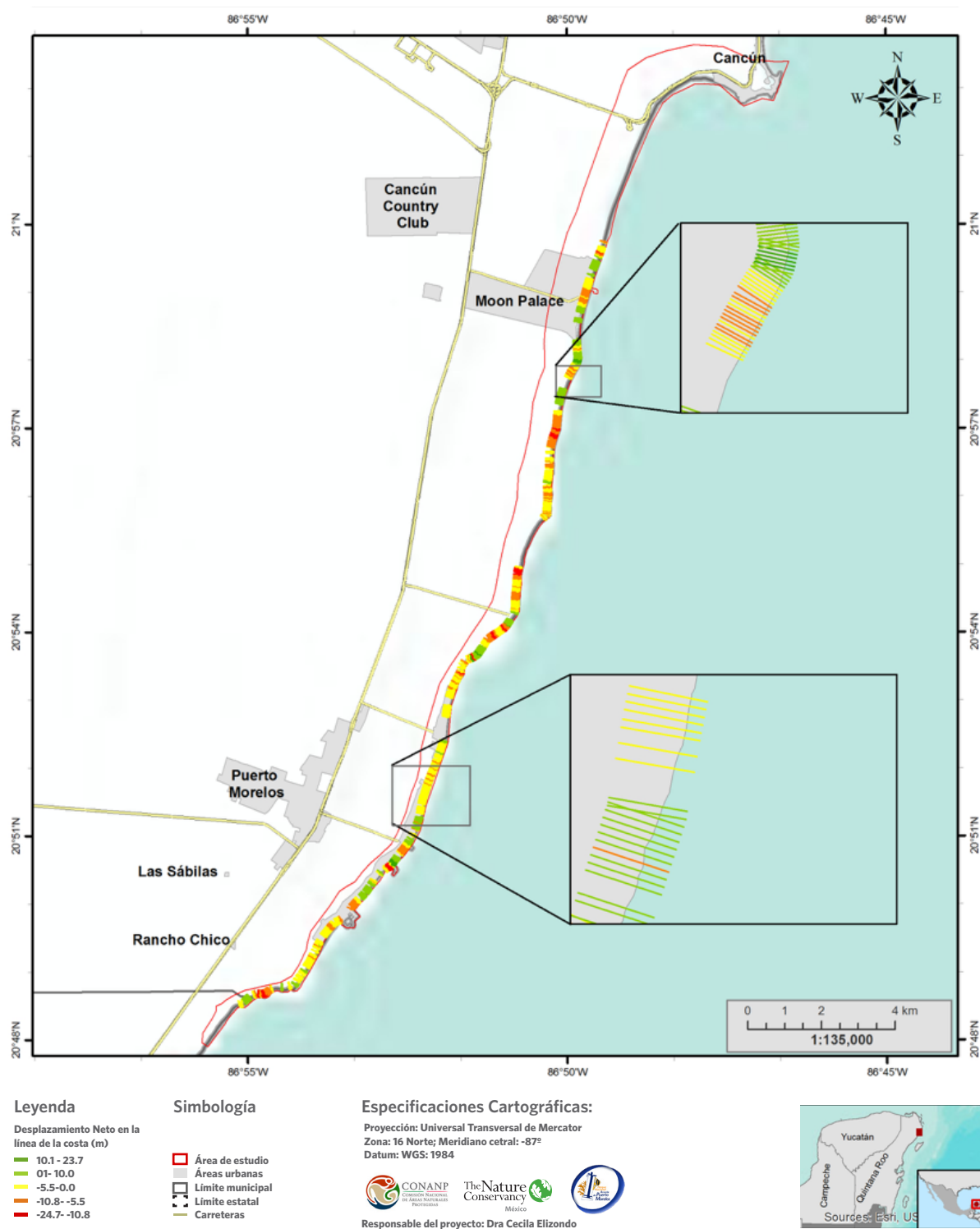
Se realizó un tercer análisis cubriendo todo el Parque Nacional, comparando imágenes satelitales de 2011 y 2017 (Elizondo, Cecilia, 2017), el cual determinó la tendencia de erosión en toda la costa, por segmentos (ver Figura 16 en siguiente página).

### Dinámica del ancho de playa del hotel Moon Palace 80-95



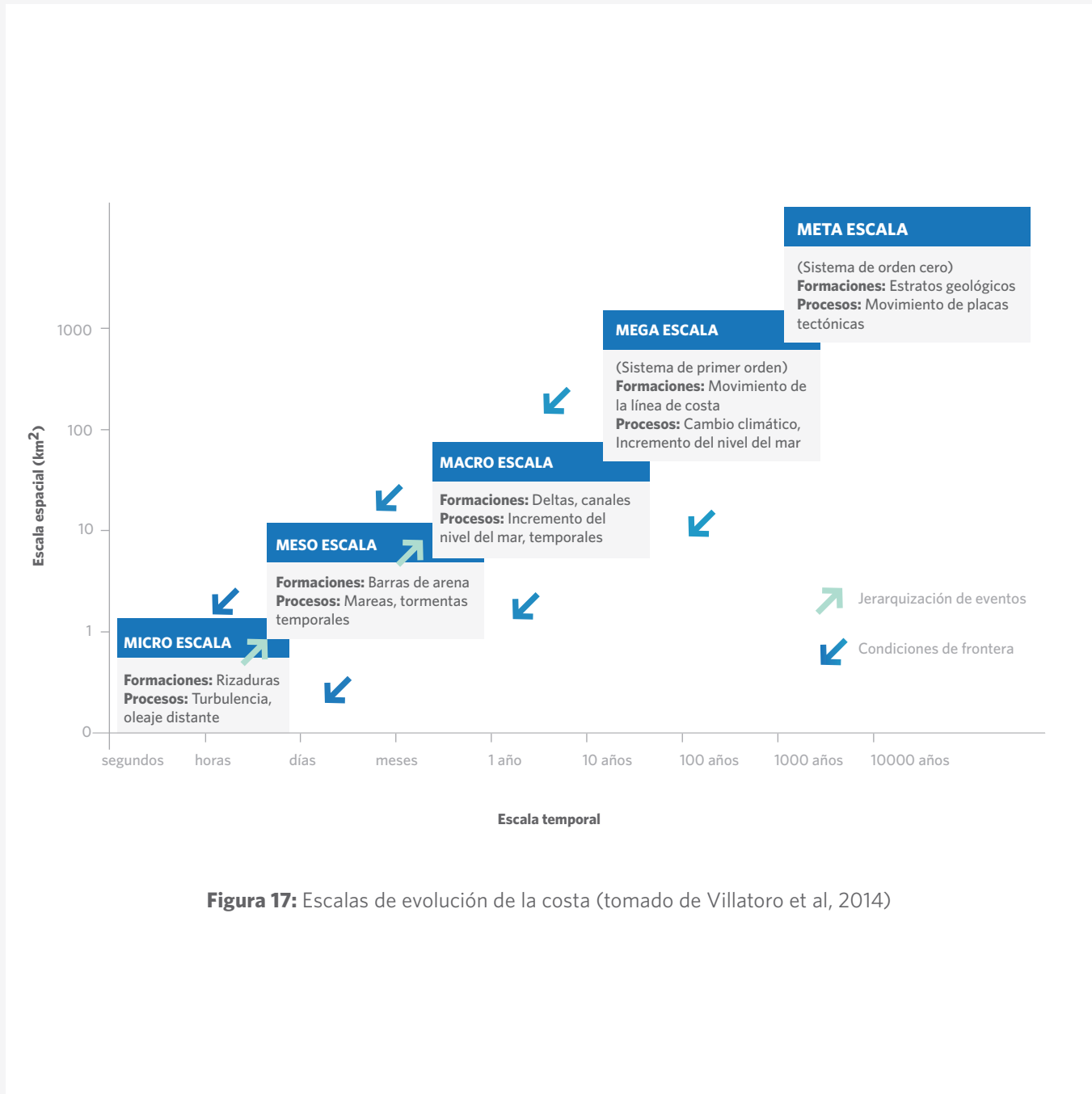
**Figura 15:** Análisis de cambio en la línea de costa con base en imágenes satelitales bajadas de Google Earth, con mayor resolución, limitadas a las fechas de 2002 a 2017. Elaboración propia

## Desplazamiento neto en la línea de costa de 2011 a 2017 en Puerto Morelos, Quintana Roo



**Figura 16:** Desplazamiento de la línea de costa entre 2011 al 2017 por segmento. Elizondo, C. et al (2017)

Villatoro y colaboradores (2014) han propuesto una jerarquía de escalas espaciales y temporales (Figura 17) que pueden considerarse en un estudio, dependiendo del tipo de proyecto, recursos e información disponibles. La jerarquización toma en cuenta elementos morfológicos (playa, dunas, rizaduras, deltas, estratos geológicos, etc.) de la zona de estudio, así como los procesos físicos involucrados (olas, corrientes, tormentas, nivel del mar, etc.). De esta manera, Villatoro y colaboradores (2014) consideran que pueden realizarse estudios a tres escalas: meso, macro y mega.



**Figura 17:** Escalas de evolución de la costa (tomado de Villatoro et al, 2014)



# 5

## PROCESO DE ANÁLISIS Y PLANEACIÓN

El proceso para el análisis de la erosión costera y el diseño de intervenciones abarca cinco etapas



### Planteamiento y caracterización del problema

En esta etapa se determina y cuantifica el problema, el cual puede ser cambios en la línea de costa, anchos de playa e inundaciones, por ejemplo. Estos lineamientos consideran que el problema a atender es la erosión costera, por lo que la caracterización consiste en determinar los cambios en el ancho y perfil de la playa, abarcando la escala espacial y temporal más amplia posible, y no solamente en el área de interés el proyecto.



### Caracterización espacial y temporal de la zona costera

La caracterización abarca distintos factores físicos, oceanográficos y ambientales de la zona costera que determinan la dinámica costera. La caracterización debe abarcar las escalas de tiempo y geográficas lo más amplias posibles. La caracterización geográfica abarca tres zonas:

#### II.1

Caracterización de las condiciones oceanográficas en mar abierto y cerca de la playa, abarcando clima, corrientes nivel del mar, tanto actuales como pasadas.

#### II.2

Caracterización espacio-temporal de la zona marina, incluyendo la cresta arrecifal, la pradera submarina y la batimetría de la laguna arrecifal.

#### II.3

Caracterización espacio-temporal de la zona costera, incluyendo topografía, las playas, dunas costeras y estructuras artificiales.



### **Diagnóstico de las causas del problema planteado**

En esta etapa se evalúa la relación entre cambios en los factores que determinan la dinámica costera (clima, aspectos físicos y condición de los ecosistemas) y los cambios ocurridos en la zona costera, como la erosión de playas, para identificar las causas. Luego de una caracterización inicial es importante plantear varias hipótesis de causa-efecto, y de ser posible modelar las relaciones que tienen mayor probabilidad.



### **Determinar el objetivo de la intervención.**

Una etapa esencial en el proceso de diseño es definir el objetivo de la intervención. Primero se analizan los resultados del diagnóstico, los cuales permiten comprender y determinar el origen de la erosión de la zona costera (erosión natural o provocada por la intervención antrópica y cambios en los factores costeros). Luego se evalúa la importancia estratégica de la estructura o playa en riesgo, y se considera el marco legal de la zona costera. Con estos tres elementos, el equipo planificador determina el objetivo de la intervención.



### **Planteamiento, evaluación y selección de intervenciones.**

Esta etapa inicia con el planteamiento e investigación acerca de las distintas alternativas de intervención para lograr el objetivo de manejar la erosión costera; posteriormente se modela la efectividad de las distintas alternativas y se estiman los costos de las más efectivas. Finalmente, se selecciona la intervención o conjunto de intervenciones más costo-efectivas.

# FASE I

## PLANTEAMIENTO Y CARACTERIZACIÓN DE LA EROSIÓN COSTERA

El primer paso es conocer bien el problema al cual nos enfrentamos. La erosión costera debe estar bien caracterizada, identificando la magnitud, los períodos de ocurrencia, y las escalas geográfica y temporal del fenómeno.

## 1.Planteamiento del problema.

### DESCRIPCIÓN Y RELEVANCIA

Definir cuál es el “problema” que se desea atender, el cual puede ser de varios tipos:

- Pérdida paulatina o repentina de playa,
- Cambios intra-anales o inter-anales en el ancho de playa.
- Inundación en la zona costera.
- Disminución de la altura y ancho de la duna costera.

### PRODUCTO ESPERADO

Planteamiento del problema.

### FUENTES DE INFORMACIÓN O METODOLOGÍA

Entrevistas con el proponente del problema, actores locales, visita al sitio.

## 2. Caracterización de los cambios en la línea de la costa y ancho de playa (decenas de años), bajo el supuesto que ese fue el problema planteado.

### DESCRIPCIÓN Y RELEVANCIA

Primero se deben identificar los cambios históricos y tendencias en la línea de costa y anchos de playa, cubriendo escenarios de tiempo lo más amplio posible. Los procesos y ciclos erosivos pueden abarcar décadas. Por lo tanto, no es aceptable analizar únicamente los cambios de los últimos años (2-5). Es importante que la comparación inter-anual use información de la misma época del año, pues las playas cambian a lo largo de un mismo año, imposibilitando detectar una tendencia a lo largo del tiempo. No podemos hacer comparaciones inter-anales de distintas temporadas de energía. También es importante determinar la fecha de la información para saber si es previa o posterior a algún evento extremo, como un huracán, o a algún cambio significativo físico, natural o antrópico, como la construcción de un muelle.

### PRODUCTO ESPERADO

Mapas con los cambios en la línea de costa, en el ancho de playa, en la altura y perfiles de la duna, y análisis de los cambios, indicando el período del año utilizando y la ocurrencia de fenómenos atípicos.

### FUENTES DE INFORMACIÓN O METODOLOGÍA

- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informático (INEGI).
- Instituto de Ingeniería UNAM (Bases de datos de perfiles de playa levantados, imágenes satelitales, estudios e informes).
- Instituto de Geografía UNAM (Bases de datos de imágenes satelitales, mapas y fotografías aéreas).
- Estudios de universidades locales y ONG's.
- Google Earth (imágenes de 2002 a la fecha).



## FASE II

### **CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA COSTERA**

Esta sección describe los pasos para caracterizar y describir los factores físicos, geológicos, climáticos y bióticos que determinan e influyen en la dinámica costera, y que eventualmente determinan la erosión costera. La caracterización debe cubrir una escala geográfica adecuada para capturar los procesos más grandes y más influyentes, como origen y transporte de sedimentos, corrientes marinas y características topográficas que influyan. También debe abarcar una escala temporal suficiente para comprender desde el origen geológico de la playa y los fenómenos que han influido en ella para poder caracterizar su comportamiento actual

## II.1 Caracterización de condiciones oceanográficas

### 3. Energía y dirección del oleaje

#### DESCRIPCIÓN Y RELEVANCIA

Las condiciones del oleaje (Hs, período, dirección, etc.) que determinan las corrientes y el transporte de sedimento longitudinal y transversal de las playas.

#### PRODUCTO ESPERADO

- Rosa de oleaje
- (Dirección, altura y periodo del oleaje).
- Modelo de propagación del oleaje.

#### FUENTES DE INFORMACIÓN O METODOLOGÍA

- Registro de boyas oceanográficas (NOAA).
- Re-análisis del oleaje<sup>1</sup>
- Kobayashi et al., 1996
- Dalrymple et al., 1984
- Longuet-Higgins, 1970
- Bergillos et al., 2016

### 4. Cambios en el nivel del mar.

#### DESCRIPCIÓN Y RELEVANCIA

El incremento del nivel del mar ocasiona inundaciones, retroceso de la línea de costa, intrusión salina en acuíferos y estuarios. Está documentado que el Nivel Medio del Mar (N.M.M.) ha aumentado desde el siglo pasado. Sin embargo, el aumento es diferente en cada región por lo que debe determinarse la situación en el área del proyecto.

#### PRODUCTO ESPERADO

- Nivel medio del mar (anual) del área del proyecto. Medidas en unidades de distancia, cada año, durante el periodo de estudio, de la estación de monitoreo más cercana.
- Tendencia de variación (cm/año).

#### FUENTES DE INFORMACIÓN O METODOLOGÍA

- Registro histórico de la estación mareográfica más cercana (Servicio Mareográfico Nacional) con datos del nivel del mar.
- Información disponible de boyas de la NOAA cercanas a la zona de estudio, con datos del nivel del mar.
- Datos de altimetría satelital.<sup>2</sup>
- Dassanayake et al., 2010
- Alexandrakakis et al., 2010

<sup>1</sup> <http://polar.ncep.noaa.gov/waves/index2.shtml>

<sup>2</sup> <http://www.aviso.oceanobs.com/duacs/>

## 5. Cambios en las mareas

### DESCRIPCIÓN Y RELEVANCIA

Características de las mareas intra-diarias, intra-anales e inter-anales. El aumento del nivel del mar genera inundaciones y un incremento en la energía del oleaje. Es importante determinar si las mareas mayores a lo normal han provocado alteraciones en la costa.

### PRODUCTO ESPERADO

- Altura máxima registrada (AMR) anual.
- Bajamar mínima registrada (BMR).
- Medidas en unidades de distancia, cada año, durante el período de estudio, de la estación

### FUENTES DE INFORMACIÓN O METODOLOGÍA

- Registro histórico de la estación mareográfica más cercana (Servicio Mareográfico Nacional).
- Si se conocen los componentes armónicos de la señal de marea del sitio es posible predecir la señal de marea.
- Pendleton et al., 2010
- Gornitz et al., 1991

## 6. Pluviometría anual y de eventos extremos

### DESCRIPCIÓN Y RELEVANCIA

Es relevante en playas donde existen escurrimientos considerables, que drenan hacia el mar durante eventos extremos de lluvia. Permite relacionar los escurrimientos extremos con cambios en playa y línea de costa. También es relevante en zonas donde la playa depende del alimento de sedimentos acarreados por ríos, en las cuales los períodos de sequía reducen el aporte sedimentario a la playa.

### PRODUCTO ESPERADO

Base de datos de pluviometría de largo plazo.

### FUENTES DE INFORMACIÓN O METODOLOGÍA

- Pluviómetro (mm).
- Disdrómetro laser (mm).
- Base de datos CICESE-CLICOM.
- Servicio Meteorológico Nacional.
- Observatorio Hidrológico del Instituto de Ingeniería de la UNAM.
- Papps y Priestley, 2005
- Syvitski et al., 2005

## 7. Cambios en los niveles freáticos

### DESCRIPCIÓN Y RELEVANCIA

La disminución del manto freático puede provocar la subsidencia en las playas y dunas, lo cual puede provocar problemas de erosión. Por lo tanto, es importante determinar si ha habido cambios significativos en los niveles freáticos. Los niveles freáticos fluctúan a lo largo del año, por lo que también es importante comparar datos inter-anales del mismo período.

### PRODUCTO ESPERADO

Base de datos del nivel del freático inter-anual

### FUENTES DE INFORMACIÓN O METODOLOGÍA

- Piezómetros que miden la presión o la profundidad del nivel de agua.
- Pozos de extracción de agua que miden la profundidad del nivel de agua.
- Organismos operadores de agua.
- CONAGUA.

## 8. Historial de tormentas tropicales, huracanes y nortes. Su impacto y consecuencias cuantitativas.

### DESCRIPCIÓN Y RELEVANCIA

Los datos históricos de eventos extremos son importantes para determinar el grado de exposición que tiene el área de estudio y reconocer su impacto en la playa y la línea de costa.

### PRODUCTO ESPERADO

- Base de datos de tormentas tropicales en el área de estudio.
- Reporte de impactos y daños causados a los ecosistemas costeros en el área de estudio (playas, dunas, manglares y otros humedales, arrecifes, pastos marinos), según disponibilidad.
- Registro de la cota topográfica que alcanzó la inundación (medida, estimada, monitoreo remoto).

### FUENTES DE INFORMACIÓN O METODOLOGÍA

- Re-análisis de clima marino (NOAA-WAVEWATCH III, Instituto de Ingeniería UNAM).
- Entrevistas a la población.
- Otras posibles fuentes:
- Protección Civil del estado.
- Reporte de daños de CENAPRED.
- Servicio Meteorológico Nacional.
- Servicio Mareográfico Nacional.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) (puertos).
- SEMAR.
- LANDSAT e imágenes satelitales disponibles, después de la inundación.



## II.2 Caracterización del área marina

### 9. Batimetría de alta resolución actual y cambios históricos.

#### DESCRIPCIÓN Y RELEVANCIA

La escala del estudio y el tipo de resultados requeridos determina el grado de resolución de la batimetría que se requiere. La disponibilidad de información y el costo de generarla es un factor determinante.

Una escala 1:1000 puede considerar unidades de medición menores a los 50 cm y se considera de alta resolución. Si la unidad es mayor a los 50 cm ya no se consideran de alta resolución

Se puede usar batimetría de baja resolución y validar los modelos con datos de batimetría de alta resolución usando puntos de control.

#### PRODUCTO ESPERADO

- Cobertura-mapa tipo raster o líneas de nivel.
- Malla digital de batimetría.
- Modelo digital del terreno y fondo marino.

#### FUENTES DE INFORMACIÓN O METODOLOGÍA

- Cartas náuticas disponibles.
- Levantamiento batimétrico con ecosonda; se recomienda en lugares con poca información y para zonas de gran variabilidad en sistemas como los arrecifes, y en aguas someras.
- Monitoreo remoto, mediante tecnología LIDAR, para aguas poco profundas.
- Video procesamiento en las aguas someras.

### 10. Análisis de cobertura de arrecifes y pastos marinos: cobertura actual y cambios históricos.

#### DESCRIPCIÓN Y RELEVANCIA

La información de la cobertura de arrecifes y pastos marinos (agentes naturales disipadores de energía) presentes en la zona litoral es necesaria para estimar su función dentro del sistema de playa en presencia de eventos extremos (ciclones tropicales, aumento en el nivel del mar, etc.).

Es importante determinar si su cobertura y condición han cambiado a lo largo de los años, pues son determinantes en la energía del oleaje que incide en las playas.

#### PRODUCTO ESPERADO

- Bases de datos por puntos, transectos o mapas vectorial de cobertura y condición del arrecife (cobertura de coral vivo, de algas,) abarcando varios momentos a lo largo del periodo de estudio.
- Mapa de cambios de la cobertura de arrecifes y pastos comparando los distintos períodos con información.

#### FUENTES DE INFORMACIÓN O METODOLOGÍA

- Monitoreo remoto (imágenes satelitales).
- Batimetrías de alta resolución, ráster o vectorial, modelos digitales de elevación.
- Mapas de hábitat bentónicos de CONABIO.
- Publicaciones de investigadores de la Unidad Académica de Sistemas Arrecifales, ICMYL, UNAM.

## 11. Análisis de la rugosidad del arrecife: actual y cambios históricos.

### DESCRIPCIÓN Y RELEVANCIA

La rugosidad y cobertura del arrecife determina la efectividad que posee el arrecife para disipar energía. Esta información generalmente se colecta en transectos y puede servir para deducir los cambios de rugosidad en la zona de estudio. Es importante determinar cambios en rugosidad a lo largo de los años, pues es determinante en la energía del oleaje que incide en las playas.

### PRODUCTO ESPERADO

- Datos de transectos, obtenidos sobre la cresta arrecifal, de rugosidad y cobertura de coral vivo durante el periodo de estudio.
- Modelos digitales o mallas digitales que contengan el valor de la rugosidad estimada.

### FUENTES DE INFORMACIÓN O METODOLOGÍA

- Monitoreo remoto (imágenes satelitales, fotografías aéreas, etc.). El resultado del procesamiento de las imágenes satelitales se ajusta a un valor equivalente según la rugosidad de Manning. (Cialone y Smith, 2007).
- In situ mediante levantamiento topográfico y batimétrico, mediante el método de la cadena, (McCormick, 1994)
- Generación de modelos digitales o mallas digitales que contengan el valor de la rugosidad estimada.
- Fuentes posibles: Dr. Lorenzo Alvarez-Filip (UASA, UNAM) y Dr. Ismael Mariño(CINVESTAV).

## II.3 Caracterización de la playa y dunas costeras

## 12. Análisis de la topografía de la duna costera y del humedal posterior: actual y cambios históricos

### DESCRIPCIÓN Y RELEVANCIA

La topografía permite describir condiciones físicas del terreno: zonas bajas, zonas altas, morfología de la duna y la playa, existencia de bocas de tormenta, cauces de arroyos y ríos, entre otros.

Es necesario conocer las características de la duna para estimar su capacidad de absorción de la energía y los cambios que ha tenido en forma natural o por intervención antrópica.

La existencia de zonas de inundación y bocas de tormenta que hayan sido alteradas.

### PRODUCTO ESPERADO

- Modelo digital del terreno y análisis de cambios en la morfología de playas, dunas y humedales costeros, según la calidad de la información disponible.
- Perfiles del sistema humedal-duna-playa.

### FUENTES DE INFORMACIÓN O METODOLOGÍA

- Levantamiento topográfico, mediante estación total, GPS diferencial, etc.
- Monitoreo remoto, LIDAR, fotografías aéreas, mediante satélites, drones, aviones.

### 13. Análisis en la cobertura vegetal de la duna costera y humedal posterior: actual y cambios históricos.

#### DESCRIPCIÓN Y RELEVANCIA

Recopila las condiciones de la vegetación en la zona de estudio. Es importante para determinar si hay relación entre los cambios en la geometría de la duna y la línea de costa con cambios en la cobertura vegetal.

#### PRODUCTO ESPERADO

Mapa tipo vectorial o ráster, de la cobertura vegetal de duna costera y análisis de cambios, según la calidad de la información disponible.

#### FUENTES DE INFORMACIÓN O METODOLOGÍA

Monitoreo remoto, LIDAR, fotografías aéreas, mediante satélites, drones, aviones.

### 14. Análisis de tipo sedimento y patrones del transporte de sedimentos.

#### DESCRIPCIÓN Y RELEVANCIA

Las características físicas del sedimento permiten estimar las condiciones del oleaje para iniciar el transporte del sedimento.

#### PRODUCTO ESPERADO

Curvas granulométricas de muestras representativas de la zona de estudio, parámetros físicos descriptivos del sedimento (velocidad de caída, forma, clasificación del tipo de suelo, etc.)

#### FUENTES DE INFORMACIÓN O METODOLOGÍA

- Muestreo en campo en la duna, zona de lavado y zona de rompiente. Cada muestra debe pesar entre 800 a 1000 g.
- Análisis granulométrico en laboratorio.

### 15. Mapeo de estructuras artificiales en la costa, duna costera, playa y mar adentro.

#### DESCRIPCIÓN Y RELEVANCIA

Las estructuras artificiales modifican la dinámica de las corrientes, el transporte de sedimentos y el funcionamiento de las dunas. Es importante conocer cuáles estructuras han sido construidas, y en que fecha fueron instaladas, para determinar los cambios que han provocado en el sistema.

#### PRODUCTO ESPERADO

Mapa de estructuras artificiales del área de estudio.

#### FUENTES DE INFORMACIÓN O METODOLOGÍA

- Imágenes satelitales Google recientes.
- Giras de campo.
- Mapeo realizado por TNC 2016.

## II.4 Caracterización geológica

### 16. Cambios en la costa del orden geológico

#### DESCRIPCIÓN Y RELEVANCIA

Caracterización y comprensión de los procesos geológicos que formaron la zona costera y determinan su forma y condición actual. Permite inferir qué procesos de largo plazo (geológicos) y de corto plazo (huracanes) han sido determinantes, identificar tendencias y prever escenarios. Con esta información es posible determinar la dinámica de playa en el largo plazo. Adicionalmente, Los tipos de rocas indican la aportación de sedimento a las playas.

#### PRODUCTO ESPERADO

- Mapa geológico y litológico de la zona.
- Descripción histórica de la formación geológica de la zona. Mapeo de cambios en la costa provocados por fenómenos no-geológicos.

#### FUENTES DE INFORMACIÓN O METODOLOGÍA

- INEGI.
- Instituto de Geofísica UNAM.
- Instituto de Geografía UNAM.
- Instituto de Geología UNAM.
- Estudios de universidades locales y ONG's.
- Revisar literatura publicada de Paul Blanchón, ICML-UNAM





## FASE III

### **DETERMINAR LAS CAUSAS DEL PROBLEMA Y EMITIR DIAGNÓSTICO**

Luego de caracterizar la zona costera, abarcando su condición actual y los cambios que ha habido, es posible determinar cuáles cambios en los factores determinantes de la dinámica costera son los que causan la erosión actual. Es recomendable iniciar con el planteamiento de distintos escenarios de las causas de erosión, que sean coherentes con la escala temporal y espacial del estudio. Posteriormente, analizar el efecto de cada factor por separado y finalizar combinando los factores según los escenarios planteados.

En este paso se integran los resultados de los pasos 1 al 16 para diagnosticar los factores que dominan históricamente el proceso de erosión y cuales han sido las respuestas del sistema. Si no han ocurrido cambios históricos en la condición de los ecosistemas, de las condiciones oceanográficas, o no ha habido instalación de estructuras artificiales, obviar los pasos 17, 18 y 19.

## 17. Análisis de cambios en la línea de costa como respuesta a cambios en la condición de los ecosistemas de arrecifes, pastos marinos y dunas.

### DESCRIPCIÓN Y RELEVANCIA

Comparación, empírica o simulada, de cambios en la energía del oleaje con la condición original de los ecosistemas con la condición actual, determinando su impacto sobre la línea de costa.

De contar con información y recursos, modelar los cambios en la energía del oleaje usando modelos como WAPO, 3DELFT, Xbeach, etc.

### PRODUCTO ESPERADO

Simulaciones de cambios en la energía del oleaje según cambios en las condiciones de los ecosistemas. Interpretación de las repercusiones de los cambios en las condiciones de los ecosistemas en el sistema playa.

### FUENTES DE INFORMACIÓN O METODOLOGÍA

- Resultados de los pasos 1, 7, 8, 9, 10 y 12.
- Simulaciones de flujo de energía derivados de cambios en rugosidad (CINVESTAV-Ismael Mariño).

## 18. Análisis de cambios en la línea de costa como respuesta a los cambios en las condiciones oceanográficas y a fenómenos meteorológicos.

### DESCRIPCIÓN Y RELEVANCIA

Comparación, empírica o simulada, de cambios en la energía del oleaje con los cambios en las condiciones oceanográficas (nivel del mar, mareas, vientos) y la ocurrencia de fenómenos meteorológicos (huracanes), determinando su impacto en la línea de costa.

De contar con información y recursos, modelar los cambios usando modelos como WAPO, 3DELFT, Xbeach, etc.

### PRODUCTO ESPERADO

Simulación de los cambios en la energía del oleaje según cambios en las condiciones oceanográficas. Interpretación de las repercusiones de los cambios en las condiciones climáticas en el sistema de playa.

### FUENTES DE INFORMACIÓN O METODOLOGÍA

- Resultados de los pasos 1, 7 y 8.
- Modelos de flujo de energía derivados de cambios en rugosidad (CINVESTAV-Ismael Mariño).

## 19. Análisis de cambios en la línea de costa como respuesta a las estructuras artificiales existentes.

### DESCRIPCIÓN Y RELEVANCIA

Comparación, empírica o simulada, de cambios en la energía del oleaje con la condición previa y posterior a la instalación de las estructuras, determinando su impacto en la línea de costa.

De contar con información y recursos, modelar los cambios usando modelos como WAPO, 3DELFT, Xbeach, etc.

### PRODUCTO ESPERADO

Interpretación de las repercusiones de las estructuras artificiales en el sistema playa.

### FUENTES DE INFORMACIÓN O METODOLOGÍA

- Resultados de los pasos 1, 8, 10 y 14.

## 20. Diagnóstico final de las causas de los cambios en la línea de costa.

### DESCRIPCIÓN Y RELEVANCIA

Comparar y/o combinar los análisis previos para determinar las principales causas de los cambios en la línea de costa. Incorporar la comprensión de los procesos geológicos como factores determinantes.

Si la caracterización indica que no ha habido cambios en los ecosistemas, condiciones oceanográficas y estructuras, o bien, dichos cambios no produjeron variación significativa en la energía del oleaje, puede concluirse que los cambios en la línea de costa son naturales o derivados de procesos geológicos.

### PRODUCTO ESPERADO

Diagnóstico de las causas de los cambios en la línea de costa.

### FUENTES DE INFORMACIÓN O METODOLOGÍA

- Resultados de los pasos 16, 17, 18 y 19.

## 21. Presentación en consulta pública.

### DESCRIPCIÓN Y RELEVANCIA

Es importante y conveniente que la caracterización del problema y de la zona sea presentada a los actores locales para socializar las causas del problema e iniciar el diálogo sobre las posibles soluciones.

### PRODUCTO ESPERADO

Memoria de la reunión.

### FUENTES DE INFORMACIÓN O METODOLOGÍA

- Resultados del paso 20.

## FASE IV

### **DETERMINAR EL OBJETIVO DE LA INTERVENCIÓN**

Una etapa esencial en el proceso de diseño es definir el objetivo de la intervención. Primero se analizan los resultados del diagnóstico, los cuales permiten comprender y determinar origen de la erosión y la naturaleza de la zona costera (erosión natural o provocada por la intervención antrópica y cambios en los factores costeros). Luego se evalúa la importancia estratégica de la estructura o playa en riesgo, y se considera el marco legal de la zona costera. Con estos tres elementos, el equipo planificador determina el objetivo de la intervención, el cual puede ser uno o combinación de los siguientes objetivo.



Las intervenciones pueden tener los siguientes objetivos:

1

**Recuperar el equilibrio de la dinámica costera**  
acciones para restaurar los ecosistemas o los factores oceanográficas a las condiciones originales.

2

**Proteger alguna estructura o playa de importancia estratégica en alto riesgo**  
La intervención no busca restaurar las condiciones originales, sino reducir el riesgo, en forma permanente o durante el periodo que se requiere el sistema para recuperar su equilibrio. No debe provocar cambios significativos ni negativos en la dinámica costera.

3

**Retirar el bien en riesgo**  
como retiro o abandono de las estructuras en riesgo, proponer nuevos usos a la playa, adaptados a las condiciones actuales y futuras. Sobre todo, considerarlas cuando:  
**1.** El proceso de erosión de playa es natural.  
**2.** Recuperar el equilibrio no es costo efectivo o no es factible técnicamente.  
**3.** El marco legal no permite ninguna intervención costo-efectiva.

| OBJETIVO                                                                            | TIPO DE INTERVENCIÓN                                                              | EJEMPLOS                                                                                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Recuperar el equilibrio de la dinámica costera</b>                               | Provisión de sedimentos al sistema                                                | Alimentación de barras de arena, playas o dunas.                                         |
|                                                                                     | Restauración de los ecosistemas degradados                                        | Restauración de arrecifes de coral, dunas, manglares, pastos marinos.                    |
|                                                                                     | Reducción de los factores que degradan los ecosistemas                            | Atención a la contaminación del agua, y sobrepesca.                                      |
|                                                                                     | Retiro de las estructuras que bloquean el flujo de sedimentos                     | Retiro de escolleras, muelles,                                                           |
|                                                                                     | Retiro de estructuras que rigidizan el sistema y obstaculizan la dinámica costera | Retiro de muros de contención, escolleras, edificios, bloqueos en las bocas de tormenta. |
| <b>Proteger alguna estructura o playa de importancia estratégica en alto riesgo</b> | Construcción de estructuras artificiales para reducir la energía del oleaje       | Estructuras paralelas a la costa.                                                        |
| <b>Retirar el bien en riesgo</b>                                                    | Cambios en el uso de la costa                                                     | Adaptación de uso recreativo.                                                            |
|                                                                                     | Retiro de la estructura en riesgo                                                 | Retiro de casas, muelles, hoteles, piscinas.                                             |

## 22. Revisión de legislación aplicable a proyectos en zona costero-marino

### DESCRIPCIÓN Y RELEVANCIA

Analizar la legislación aplicable a proyectos en el mar y en la zona terrestre. Identificar las limitantes legales a los distintos tipos de proyectos para delimitar el abanico de opciones que se vayan a evaluar.

### PRODUCTO ESPERADO

- Compilación de normas aplicables.
- Reporte y análisis de las limitantes legales a los distintos tipos de proyectos.

### FUENTES DE INFORMACIÓN O METODOLOGÍA

- Legislación publicada en el diario oficial federal, estatal y municipal.

## 23. Determinar el objetivo de la intervención.

### DESCRIPCIÓN Y RELEVANCIA

Considerando el diagnóstico de la zona costera, las causas de la erosión, el marco legal y la importancia estratégica de los bienes en riesgo, determinar el objetivo de la intervención.

### PRODUCTO ESPERADO

Objetivo de intervención.

### FUENTES DE INFORMACIÓN O METODOLOGÍA

- Resultados de los pasos 20 y 22, y cuadro de objetivos.

## 24. Portafolio de posibles intervenciones.

### DESCRIPCIÓN Y RELEVANCIA

Se lista el abanico de posibles intervenciones y se determina como se evaluará la efectividad y contribución de cada una de ellas, o en su conjunto.

Considerar estructuras permanentes o temporales y alternativas de restauración de sistemas naturales.

Revisar que cumplan con los requisitos legales.

### PRODUCTO ESPERADO

- Portafolio de posibles intervenciones y propuesta metodológica para su evaluación.
- Bosquejo de las orientaciones y dimensiones de las intervenciones.

### FUENTES DE INFORMACIÓN O METODOLOGÍA

- Resultados de los pasos 2, 20, 22 y 23, y cuadro de posibles intervenciones.

# FASE V

## **EVALUAR LAS INTERVENCIONES Y SELECCIONAR PROPUESTA**

Teniendo claro el marco legal, el objetivo de la intervención y un portafolio de soluciones, se procede a evaluar las alternativas y seleccionar una propuesta.

## 25. Cambios previstos considerando los distintos escenarios de cambio climático y los procesos y tendencias de degradación de la costa registrados.

### DESCRIPCIÓN Y RELEVANCIA

Las intervenciones deben prever las condiciones futuras de la zona costera los cuales modificarán la energía del oleaje y su dinámica costera. El cambio climático está provocando cambios en los niveles del mar, frecuencia e intensidad de tormentas tropicales, precipitación, cobertura y condición de los ecosistemas. Los ecosistemas continuarán su proceso de degradación. Seguramente hay estructuras artificiales planificadas en la costa.

### PRODUCTO ESPERADO

- Determinar o simular los cambios previstos en las condiciones oceanográficas y ecosistemas.
- Incorporación de los cambios previstos en las simulaciones de las intervenciones.

### FUENTES DE INFORMACIÓN O METODOLOGÍA

- Modelos de futuras condiciones de vientos, huracanes, nivel del mar, mareas.
- Proyección de cambios en cobertura y rugosidad de los arrecifes del Caribe.
- Planes y proyectos de desarrollo costero.

## 26. Modelar la efectividad de las intervenciones.

### DESCRIPCIÓN Y RELEVANCIA

Se modela la efectividad de las intervenciones planteadas usando las condiciones climáticas del oleaje actuales y futuras. La efectividad se evalúa midiendo los cambios en el proceso de erosión de la playa (menores tasas de erosión por año).

### PRODUCTO ESPERADO

- Modelación de cada intervención propuesta o conjunto de intervenciones.
- Seleccionar aquellas que cumplen con el objetivo.

### FUENTES DE INFORMACIÓN O METODOLOGÍA

- Portafolio de intervenciones, diagnóstico y escenarios futuros (pasos 20, 24 y 25) .

## 27. Costo de las intervenciones

### DESCRIPCIÓN Y RELEVANCIA

Estimar el costo de las intervenciones seleccionadas como efectivas, así como el tiempo de construcción o tiempo que requiere recuperar las condiciones deseadas, cuando es restauración.

### PRODUCTO ESPERADO

Análisis del costo y tiempo de cada una de las intervenciones que son efectivas.

### FUENTES DE INFORMACIÓN O METODOLOGÍA

- Modelación de las intervenciones (paso 26).
- Información de costos, fuente según tipo de intervención.

## 28. Comparación y selección de las intervenciones más costo-efectivas y complementarias (portafolio propuesto).

### DESCRIPCIÓN Y RELEVANCIA

Se analizan las alternativas y se priorizan aquellas con mejor relación costo-beneficio. En su conjunto las medidas buscan a) efectividad para atender el problema, b) viabilidad económica y c) cumplimiento de las normas ambientales.

### PRODUCTO ESPERADO

Reporte y tabla comparativa del análisis costo-beneficio.

### FUENTES DE INFORMACIÓN O METODOLOGÍA

- Modelación y costos de las intervenciones (paso 26 y 27).

## 29. Propuesta de intervención

### DESCRIPCIÓN Y RELEVANCIA

Consolida las distintas soluciones en una propuesta de intervención y costos.

### PRODUCTO ESPERADO

Propuesta de intervención.

### FUENTES DE INFORMACIÓN O METODOLOGÍA

- Tabla comparativa del análisis costo-beneficio.

## 30. Evaluación de posibles afectaciones al sistema.

### DESCRIPCIÓN Y RELEVANCIA

Revisar si el conjunto de soluciones propuestas podría causar algún efecto positivo o negativo al sistema, distinto al impacto buscado en reducir la energía del oleaje.

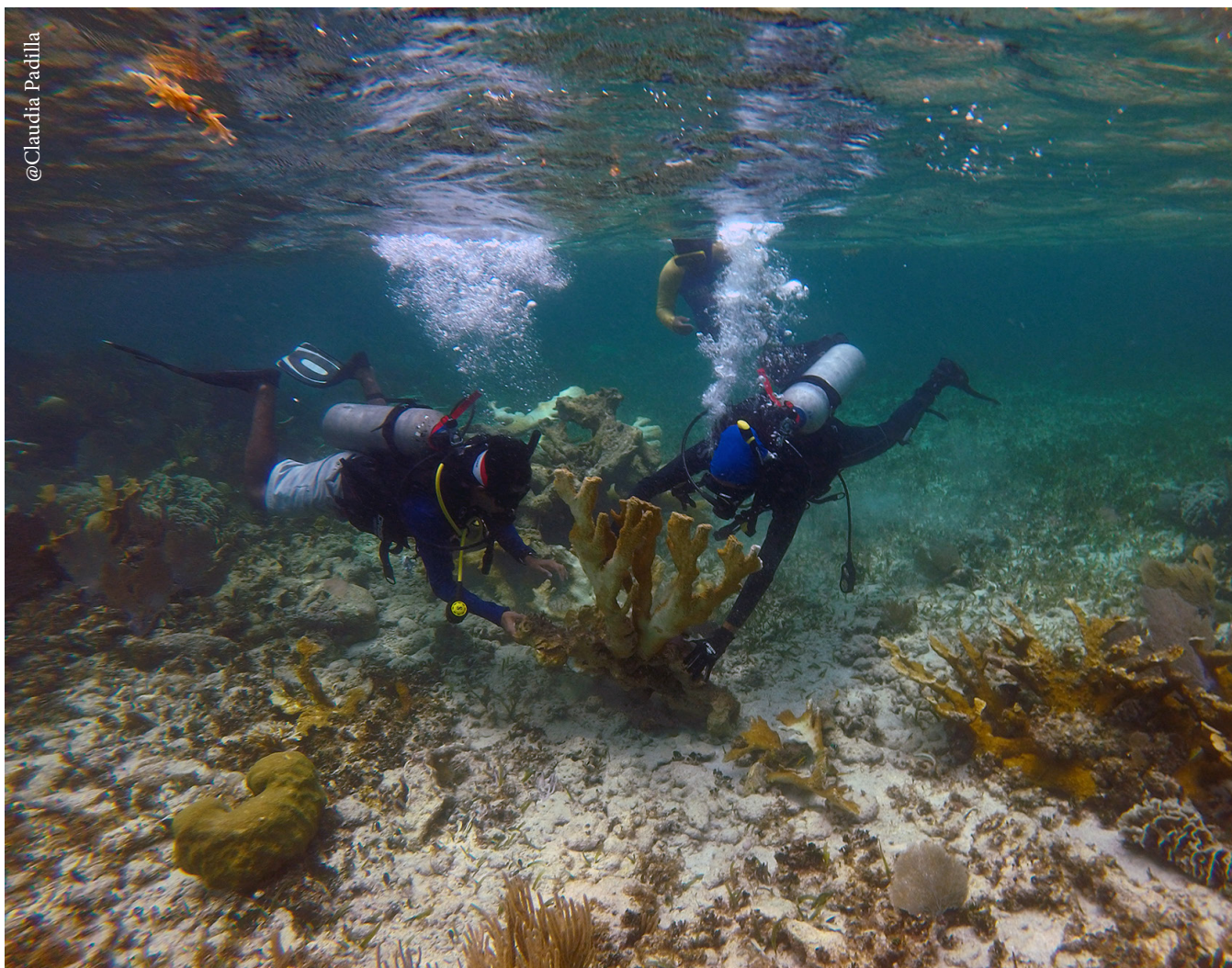
### PRODUCTO ESPERADO

Estudio de impacto ambiental.

### FUENTES DE INFORMACIÓN O METODOLOGÍA

- Revisión de las modelaciones previas.
- Datos de campo según sea requerido por las leyes aplicables.





@Claudia Padilla

### 31. Consulta con actores locales.

#### DESCRIPCIÓN Y RELEVANCIA

Presentación ante los actores locales para conocer sus perspectivas sobre el portafolio de intervenciones propuesto. Iniciar con el diagnóstico de la situación actual (obviar si ya fue validado previamente) y plantear la intervención.

#### PRODUCTO ESPERADO

Memoria de reunión y vo.bo. de actores locales.

#### FUENTES DE INFORMACIÓN O METODOLOGÍA

- Marco legal, propuesta de intervención, impacto al sistemas (Resultados de pasos 20, 29 y 30).

# 6

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alexandrakis, G., Í. Karditsa, S. E. Poulos, G. Ghionis y N. A. Kampanis** (2010). "Vulnerability Assessment for the Erosion of the Coastal Zone Due to a Potential Sea Level Rise: The Case if the Aegean Hellenic Coast." *Environmental Systems*, Vol. III, N° 324.
- Bergillos, R. J., A. López-Ruiz, M. Ortega-Sánchez, G. Masselink y M. A. Losada** (2016). "Implications of delta retreat on wave propagation and longshore sediment transport-Guadalejo case study (southern Spain)." *Marine Geology*, Vol. 382, Pág. 1-16.
- Cialone, M. A. y J. M. Smith** (2007). "Wave transformation modeling with bottom friction applied to southeast Oahu Reefs." 10th International Workshop on Wave Hindcasting and Forecasting and Coastal Hazard Assessment, Citeseer.
- Dalrymple, R. A., J. T. Kirby y P. A. Hwang** (1984). "Wave diffraction due to areas of energy dissipation." *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, Vol. 110, N°1, Pág. 67-79.
- Dassanayake, D. R., A. Burzel, A. Kortenhaus y H. Oumeraci** (2010). "Framework and methods for the evaluation of intangible losses and their integration in coastal flood risk analysis." *XtremRisk Progress Report*. Leichtwei-Institute for Hydraulic Engineering and Water Resources, Technische Universität Braunschweig.
- Elliff, C. y Silva, I.** (2017). Coral reefs as the first line of defense: Shoreline protection in face of climate change. *Marine Environmental Research*. Vol. 127. Pág. 148-154.
- Elizondo, Cecilia.** 2017. Caracterización de la Línea de Costa y Duna Costera desde Punta Nizuc hasta el Extremo Sur del Parque Nacional Arrecifes de Puerto Morelos. Reporte de consultoría para CONANP y The Nature Conservancy.
- González-Leija, M.; Marino-Tapia, I.; Silva, R.; Enriquez, C.; Mendoza, E.; Escalante-Mancera, E.; Ruiz-Rentería, F., and Uc-Sánchez, E.,** 2013. Morphodynamic evolution and sediment transport processes of Cancun Beach. *Journal of Coastal Research*, 29(5), 1146-1157.
- Gornitz, V., T. W. White y R. M. Cushman** (1991). "Vulnerability of the US to future sea level rise." Oak Ridge National Lab., TN (USA).
- Kobayashi, N., Y. Tega y M. W. Hancock** (1996). "Wave reflection and overwash of dunes." *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, Vol. 122, N°3, Pág. 150-153.
- Longuet-Higgins, M. S.** (1970). "Longshore currents generated by obliquely incident sea waves: 1." *Journal of geophysical research*, Vol. 75, N°33, Pág. 6778-6789.
- McCormick, M. I.** (1994). "Comparison of field methods for measuring surface topography and their associations with a tropical reef fish assemblage." *Marine ecology progress series*. Oldendorf, Vol. 112, N°1, Pág. 87-96.
- Narayan, S., M. Beck, B. Reguero, I. Losada, B. van Wesenbeeck, N. Pontee, J. Sanchirico, J. Carter, G. Lange y K. Burks-Copes.** (2016). The Effectiveness, Costs, and Coastal Protection Benefits of Natural and Nature-Based Defences. *PLOS ONE*. Vol. 11 No. 5.
- Papps, D. y S. Priestley** (2005). "Design and Performance of Replenishment Projects on Auckland's Eastern Beaches." *Coasts and Ports 2005: Coastal Living-Living Coast; Australasian Conference; Proceedings*, Institution of Engineers, Australia.
- Pendleton, E. A., J. A. Barras, S. J. Williams y D. C. Twichell** (2010). "Coastal vulnerability assessment of the Northern Gulf of Mexico to sea-level rise and coastal change." *US Department of the Interior, US Geological Survey*.
- Rondón, G.A.** (2011). Análisis de la Variación Temporal de la Línea de Costa y Caracterización de la Geomorfología Litoral. Bahía de Paita, Perú 1946-2007. *Espacio y Desarrollo*. No. 23. Pág. 94-114.
- Silva, R., and Strusińska-Correia, A.** (eds.). (2014) Coastal Erosion and Management along Developing Coasts: Selected Cases. *Journal of Coastal Research, Special Issue*, No. 71, pp. 1-16. C
- Syvitski, J. P. M., C. J. Vörosmary, A. J. Kettner y P. Green** (2005). "Impact of humans on the flux of terrestrial sediment to the global coastal ocean." *Science*, Vol. 308, N°5720, Pág. 376-380.
- Villatoro, M., R. Silva, D.-C. M. A., E. Mendoza, F.-D. Angélica, M. Escudero y C. Abril** (2014). "Caracterización de la Zona Costera y PlanTEAMIENTO de Elementos Técnicos para la Elaboración de Criterios de Regulación y Manejo Sustentable." UNAM, SEMARNAT.



## CONSERVANDO LAS TIERRAS Y AGUAS DE LAS QUE DEPENDE LA VIDA.

@2018 The Nature Conservancy de México y  
Centro de Norte América. Impreso en Ciudad de México, Papelera  
Progreso en papel sustentable Forest Stewardship Council®.

[www.tncmx.org](http://www.tncmx.org)

