



## ANÁLISIS A PARTIR DE IMÁGENES DE VIDEO DE LA DINÁMICA DE LOS SISTEMAS DE BARRAS EN RESPUESTA A TEMPORALES FONDO DE COLABORACIÓN INTERNACIONAL DEL INSTITUTO DE INGENIERÍA DE LA UNAM

ERNESTO TONATIUH MENDOZA PONCE (LABORATORIO DE INGENIERÍA Y PROCESOS COSTEROS, INSTITUTO DE INGENIERÍA, CAMPUS SISAL, UNAM)

### ANTECEDENTES

Los sistemas de barras sumergidas o submareales conforman un sistema natural de protección de playas que debe ser estudiado para entender lo que ocurre en la playa emergida, su vulnerabilidad y su capacidad para responder a fuerzas externas. Todo lo anterior es esencial para los estudios de estabilidad de playas y de diseño de infraestructuras.

Las barras submareales son acumulaciones de sedimento, generalmente paralelas a la costa, que se encuentran a menos de 10 m de profundidad y conforman una protección natural para la playa emergida, ya que ayudan a la disipación del oleaje antes de su llegada a la orilla. Además, tienen un papel fundamental en la hidrodinámica de la zona de rompiente y la morfodinámica costera.

En la zona sumergida del perfil de la playa se pueden encontrar entre una y cuatro barras de arena. Su morfología es muy variable, lo que complica la creación de una clasificación para barras en todo tipo de ambientes. La mayoría de los criterios usados en las clasificaciones actuales se basan en la localización y la morfología de la barra. A partir de la observación de la forma en planta de la barra, Wijnberg y Kroon (2002) describen tres tipos de morfología para las barras submareales:

- Barras lineales totalmente paralelas a la costa.
- Barras que no son rectilíneas y que no están unidas a la línea de costa; agrupan una gran variedad de morfologías, como las barras crescénticas, que pueden ser uniformes o asimétricas, o las barras que forman patrones irregulares y más complejos.
- Barras unidas a la línea de la costa.

La forma en planta, la amplitud y la localización de las barras en el perfil transversal cambian respondiendo a las condiciones del oleaje. Esta respuesta a los cambios en la hidrodinámica no es inmediata; hay una demora que depende de la intensidad de la hidrodinámica y de la cantidad de sedimento que se debe mover. En ocasiones, cuando la energía del oleaje es baja como para producir transporte de sedimento, la morfología de la barra puede quedar “arrestada”, de forma que el estado morfodinámico

teórico predicho por las condiciones hidrodinámicas no coincida con el estado real de las barras.

Su dinámica a corto plazo (desde horas a varios meses) se caracteriza por los cambios de su forma en planta y las migraciones transversales, acercándose o alejándose de la costa. La migración puede explicarse atendiendo a dos factores principales: la profundidad a la que se encuentra la barra y la altura del oleaje incidente. Las migraciones que se alejan de la costa se dan cuando la altura del oleaje es grande en relación con la profundidad de la barra. La migración hacia la costa es más lenta y ocurre cuando disminuye la energía del oleaje, pero todavía es posible el transporte de sedimento.

A pesar de ser tan comunes, y de haber sido el objeto de un gran número de estudios, todavía hay mucho desconocimiento en torno a estas estructuras.

En las últimas dos décadas, gracias al desarrollo de las técnicas de monitorización remota para la observación de la zona costera se han producido grandes avances en la comprensión de los sistemas de barras. En particular, los sistemas de monitorización con video están formados por una serie de cámaras conectadas a un procesador de imágenes que se encarga de la adquisición de los datos y su almacenamiento temporal hasta el momento en que, por medio de una conexión a Internet, son transferidos a la base de datos central y metidos a Internet para el acceso público (o restringido). Los usuarios tienen acceso a la base de datos para realizar el posprocesado, y también pueden controlar remotamente los procesos de adquisición y tratamiento de datos (figura 1).

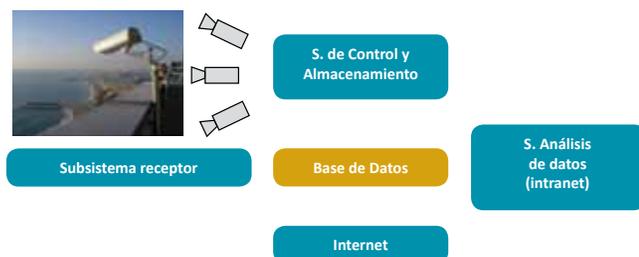


Figura 1. Esquema de la obtención y distribución de las imágenes de video

En particular, la monitorización con este procedimiento consiste en la realización de fotografías horarias tomadas durante las horas con luz y durante un intervalo de 10 minutos. Se obtienen tres tipos de imágenes (figura 2) que se almacenan automáticamente:

- Instantánea, que ofrece poca información cuantitativa pero da una idea de las condiciones en el momento de la toma de datos.
- Promedio, de los 10 minutos de medida, donde los cambios naturales debidos a la rotura del oleaje son promediados y aparecen zonas suavizadas que corresponden a la localización de la línea de costa o las barras de arena sumergidas. Se utiliza para los estudios posteriores;
- De varianza, que representa la desviación estándar de las imágenes promediadas y da una idea de las regiones más dinámicas durante ese intervalo.



Figura 2. Ejemplo de los tipos de imágenes obtenidas para la estación de video de Sisal (Yucatán): a) imagen instantánea, b) imagen promediada y c) imagen de varianza.

Estas imágenes oblicuas son rectificadas y corregidas geométricamente para permitir la obtención de medidas cuantitativas de la playa. La figura 3 muestra un ejemplo de cinco imágenes oblicuas de la estación de Barcelona, España, y el resultado final (similar a una fotografía aérea) una vez corregidas y rectificadas geométricamente. La característica principal de la imagen presentada en la figura 3b es que todos los píxeles tienen las mismas dimensiones, lo que posibilita hacer medidas en la imagen.

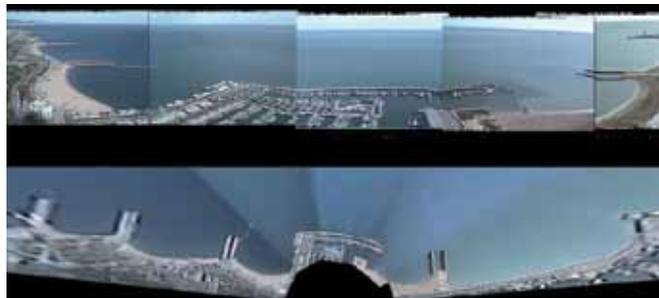


Figura 3. a) Imágenes oblicuas correspondientes a cinco cámaras localizadas en Barcelona (España); b) imagen resultante tras la corrección y rectificación geométrica.

Al tratarse de morfologías sumergidas, la extracción de la posición de las barras submareales se infiere por la rotura preferencial del oleaje sobre estas zonas más someras del perfil. Esta rotura del oleaje sobre las barras resulta en una franja blanca en las imágenes promediadas (figura 3).

Las rutinas de extracción de la posición de las barras se centran en buscar el máximo de intensidad asociado con cada perfil transversal, y es la localización de este máximo de intensidad ( $x_{\text{video}}$ ) la que se asocia con la localización de la cresta de la barra o la posición de mínima profundidad. En realidad, existen diferencias entre la posición real de la cresta de la barra y la  $x_{\text{video}}$ , diferencias que dependen de cada emplazamiento y que, por tanto, deben ser cuantificadas. Los parámetros que influyen en  $x_{\text{video}}$  son aquellos que controlan la rotura del oleaje, como la altura de ola, el nivel del mar y la forma del perfil sumergido. Antes de emprender un estudio de la dinámica de las barras, las migraciones aparentes deben ser cuantificadas (comparándolas con datos batimétricos reales) y, de ser posible, minimizadas. A pesar de la importancia de esta cuantificación, solo se ha evaluado en unos pocos emplazamientos.

A partir de las evaluaciones anteriores han surgido varios métodos para corregir el efecto de la migración aparente debida a la marea, al efecto conjunto de marea y oleaje, y la debida exclusivamente al oleaje.

La estación de video de Sisal tiene varias características comunes con las estaciones del Instituto de Ciencias del Mar de Barcelona; las principales son la ausencia de marea y la baja energía del oleaje durante gran parte del año. La ausencia de oleaje rompiendo sobre las barras de arena sumergidas durante una buena parte del año impide la extracción de la posición exacta de las barras.

Tanto en la estación Argus, de Barcelona, con el sistema Sirena, como en la playa de Sisal es posible ver las barras en condiciones de calma gracias a la claridad de las aguas (figura 4).



Figura 4. Playa de Sisal en condiciones de calma en donde las flechas denotan la existencia de barras

El uso de videomonitorización permitirá continuar con la obtención de datos tras la finalización del presente proyecto y, por tanto, extender los resultados a lo largo de los años para poder investigar de esta forma el ciclo de vida natural de las barras de Sisal. Este proyecto plantea un estudio de la dinámica del sistema de barras de arena sumergidas en la playa de Sisal, Yucatán, a escalas temporales de horas a meses.

### **DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA A RESOLVER Y RELEVANCIA DE LA INVESTIGACIÓN**

Se pretende caracterizar la dinámica del sistema de barras sumergidas de Sisal complementando las observaciones por video a partir de la rotura del oleaje con observaciones en condiciones de calma. La comprensión de la dinámica de dichas barras y su respuesta a eventos extremos contribuirá a entender la vulnerabilidad de las costas de arena en general y de la costa de Yucatán en particular. Así mismo, contribuirá a sentar las bases para proponer soluciones de mitigación de la erosión y promover un desarrollo costero más sustentable.

### **HIPÓTESIS**

- Las cámaras de video permiten la identificación de barras en condiciones de calma.
- Las barras son estructuras dinámicas que protegen la playa emergida de la acción del oleaje y, por tanto, tienen un efecto directo en los procesos de erosión y acreción en la costa.
- Las barras presentes en la playa de Sisal son barras activas que responden al oleaje, y su existencia es un caso de estudio ideal para comprender la dinámica costera.

### **OBJETIVOS**

Objetivo general: caracterizar la dinámica del sistema de barras sumergidas de la playa de Sisal y su comportamiento en respuesta a tormentas (desde horas a meses).

Objetivos específicos:

- Instalación de una estación de monitoreo con video en la torre meteorológica de la playa de Sisal en el LIPC, junto con el Instituto de Ciencias del Mar del Consejo Superior de Investigaciones Científicas de España (ICM-CSIC).
- Establecer una página de Internet para observar las imágenes: <http://tepeu.sisal.unam.mx/video-sisal/images.jsp>.

Actualmente se está trabajando en los siguientes puntos:

- Implementar dos cámaras más al sistema.
- Calibrar las cámaras para permitir la extracción de la posición de las barras de arena durante condiciones de calma y condiciones más energéticas.
- Establecer una rutina para obtener la localización automatizada de las barras.
- Establecer la influencia del oleaje en la dinámica de las barras de la costa oeste de Yucatán a escalas temporales de días a meses.
- Formar a un estudiante de maestría en el manejo del sistema de video.
- Implementar una estación de monitoreo costero en Sisal.

Objetivos a largo plazo:

- Proporcionar registros de medidas de diferentes parámetros físicos (y biológicos) a una escala temporal larga, que no esté limitada a la duración de los proyectos de investigación.
- Caracterizar la dinámica litoral de la costa de Yucatán.
- Prover de datos a los modeladores del sistema costero.
- Reforzar la red de observatorios y plataformas costeras de monitorización en tiempo real que pretende posibilitar el conocimiento de los diferentes procesos que tienen lugar en el medio marino y su modelado.

### **DETALLES**

El LIPC, en colaboración con el ICM-CSIC, implementó un sistema de videomonitorización a finales de 2011 en Sisal. Las cámaras están instaladas en lo alto de la torre meteorológica, a unos 45 m de altitud (figura 5). Este sistema de monitorización utiliza el *software* libre y abierto Sirena.

El muestreo estándar consiste en tomar fotografías cada hora (de luz) durante 10 minutos, del que se obtiene una imagen promediada, una de la varianza y una instantánea (figura 2 y <http://tepeu.sisal.unam.mx/video-sisal/images.jsp>).



Figura 5. Torre meteorológica de la playa de Sisal donde se instalará el sistema de video

El primer paso en el posprocesado de las imágenes es la georreferenciación, que permite hacer medidas reales a partir de las fotografías. En el caso de Sisal, debido a la movilidad de la torre, se está desarrollando un *software* específico para lograr una georreferenciación automatizada de las imágenes. A partir de las fotografías georreferenciadas se obtendrá la ubicación de las barras de arena reflejada en las imágenes por la rotura del oleaje que generan o, en el caso de condiciones de calma, a simple vista.

Con los datos de posición de barras obtenidos se realizarán dos tipos de análisis considerando un comportamiento uniforme de la barra a lo largo de toda la playa, para que la posición de toda la barra se represente como la posición en un punto del perfil transversal, y la disposición general de la barra, donde será posible determinar el comportamiento diferencial de algunos sectores de la barra durante eventos específicos. 🏠

Actualmente, se están realizando campañas topográficas y batimétricas para determinar con exactitud la localización de las cámaras y los puntos de control que se usarán en las imágenes.

Para mayor información sobre este proyecto contacte al Doctor Ernesto Tonatiuh Mendoza en la página del Instituto: [www.ii.unam.mx](http://www.ii.unam.mx).