

# **METODOLOGÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE INDICADORES MORFODINÁMICOS A TRAVÉS DEL USO DE CÁMARAS DE VÍDEO. CASO DE APLICACIÓN: PLAYA DE LA MAGDALENA (CANTABRIA, ESPAÑA)**

I.C. Cristian Andrés Ortiz Alarcón

Tesis de Grado  
Presentada como requisito parcial para optar al título de  
Magíster en Ingeniería – Recursos Hidráulicos



Director  
Andrés Fernando Osorio Arias

Codirector:  
Raúl Medina Santamaría

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  
SEDE MEDELLÍN  
FACULTAD DE MINAS  
ESCUELA DE GEOCIENCIAS Y MEDIO AMBIENTE  
POSGRADO EN APROVECHAMIENTO DE RECURSOS HIDRÁULICOS



METODOLOGÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE  
INDICADORES MORFODINÁMICOS A TRAVÉS DEL USO  
DE CÁMARAS DE VÍDEO. CASO DE APLICACIÓN:  
PLAYA DE LA MAGDALENA (CANTABRIA, ESPAÑA)



## AGRADECIMIENTOS

El desarrollo de este trabajo ha involucrado a una enorme cantidad de personas que de maneras diversas participaron e hicieron posible la culminación de esta etapa, a todas ellas mis más profundos agradecimientos. Para mencionar algunos:

- Al profesor Andrés Fernando Osorio por su confianza y orientación en el desarrollo de este trabajo, por su apoyo y motivación en mis actividades académicas e investigativas.
- Al profesor Raúl Medina Santamaría por apostar en nuestro equipo de trabajo en Colombia, por su apoyo incondicional en la obtención de información y recursos, lo que hizo posible la plataforma HORUS y la culminación de este trabajo.
- A la profesora Maria Victoria Vélez, todas las oportunidades que me ha brindado desde la época de pregrado hicieron posible esta maestría y otros logros.
- A Juan Camilo Pérez, por su ayuda incondicional en la búsqueda de soluciones a los miles de problemas presentados en este tiempo.
- Al equipo *HORUS* en general: Hugo Escorcía, Juan David Osorio, Sebastián Osorio, David Barcelona, Imen Turki y Mauricio Sedano.
- A Soledad Requejo Landeiera del Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria por la información hidrodinámica facilitada.
- A Mauricio Toro, Jaime Ignacio Vélez y en general a todos los profesores del Postgrado de Recursos Hidráulicos PARH de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín.
- Al grupo de investigación Oceanográfica y Costera *OCEANICOS* de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.
- A mis compañeros y amigos de la maestría de Recursos Hidráulicos de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Por todas sus ayudas, momentos y discusiones filosóficas de la mayor trascendencia.
- A Lía Sánchez, sin su presencia este capítulo de mi vida no hubiese sido realidad.



METODOLOGÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE  
INDICADORES MORFODINÁMICOS A TRAVÉS DEL USO  
DE CÁMARAS DE VÍDEO. CASO DE APLICACIÓN:  
PLAYA DE LA MAGDALENA (CANTABRIA, ESPAÑA)





METODOLOGÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE  
INDICADORES MORFODINÁMICOS A TRAVÉS DEL USO  
DE CÁMARAS DE VÍDEO. CASO DE APLICACIÓN:  
PLAYA DE LA MAGDALENA (CANTABRIA, ESPAÑA)



*A mis grandes amores: Mi madre. Mi hermana y Mi sobrina*



METODOLOGÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE  
INDICADORES MORFODINÁMICOS A TRAVÉS DEL USO  
DE CÁMARAS DE VÍDEO. CASO DE APLICACIÓN:  
PLAYA DE LA MAGDALENA (CANTABRIA, ESPAÑA)



# ÍNDICE DE CONTENIDO

|  |      |
|--|------|
| AGRADECIMIENTOS .....  | 1-3  |
| ÍNDICE DE CONTENIDO .....  | 1-7  |
| 1. INTRODUCCIÓN.....   | 1-11 |
| 1.1 Motivación.....  | 1-11 |
| 1.2 Objetivos de la tesis.....   | 1-13 |
| 1.3 Contenido del trabajo .....  | 1-13 |
| 2. SENSORES REMOTOS BASADOS EN SISTEMAS DE VÍDEO Y SU APLICACIÓN<br>EN ZONAS COSTERAS..... | 2-15 |
| 2.1 Introducción.....  | 2-15 |
| 2.2 Sensores remotos .....   | 2-17 |
| 2.3 Sistemas basados en vídeo.....   | 2-18 |
| 2.4 Aplicaciones a las zonas costeras .....  | 2-20 |
| 3. SISTEMA DE MONITOREO HORUS.....   | 3-23 |
| 3.1 Introducción.....  | 3-23 |
| 3.2 Definición de conceptos .....  | 3-24 |
| 3.3 Generalidades del sistema horus .....  | 3-26 |
| 3.4 Sistema de captura.....  | 3-29 |
| 3.4.1 Configuración Técnica.....   | 3-30 |
| 3.4.1.1 Ubicación de las cámaras y resolución espacial.....                                | 3-33 |
| 3.4.1.2 Calibración de Cámaras.....  | 3-34 |
| 3.4.2 Tipo de Datos.....   | 3-40 |
| 3.5 Sistema de PRE-PROCESAMIENTO.....  | 3-43 |
| 3.5.1 Medición sobre la imagen.....  | 3-43 |

|         |  |      |
|---------|--|------|
| 3.5.1.1 | Transformada Lineal Directa y métodos de solución.....     | 3-43 |
| 3.5.1.2 | Rectificación de imágenes.....                             | 3-45 |
| 3.6     | procesamiento y software.....                              | 3-46 |
| 3.6.1   | Módulo DBHORUS.....  | 3-48 |
| 3.6.1.1 | Selección y filtrado de imágenes.....                      | 3-49 |
| 3.6.2   | Módulo de Datos de Campo.....                              | 3-50 |
| 3.6.3   | Módulo de GEOMETRÍAS.....                                  | 3-51 |
| 3.6.3.1 | Interfaz Gráfica.....                                      | 3-51 |
| 3.6.4   | Módulo de FUSIÓN.....                                      | 3-52 |
| 3.6.5   | Módulo PSDMHORUS.....                                      | 3-54 |
| 3.6.5.1 | Interfaz Gráfica.....                                      | 3-55 |
| 3.6.6   | Módulo de USUARIOS.....                                    | 3-58 |
| 3.6.6.1 | Detección de objetos.....                                  | 3-58 |
| 3.6.6.2 | Intefaz Gráfica.....                                       | 3-60 |
| 3.7     | Publicación en web.....                                    | 3-62 |
| 3.7.1   | Cómo se comunica el sitio.....                             | 3-62 |
| 3.7.2   | Visualización de los resultados.....                       | 3-63 |
| 3.7.3   | Sitio Web.....   | 3-63 |
| 3.8     | Conclusiones.....  | 3-65 |
| 4.      | METODOLOGÍA PARA LA ESTIMACIÓN DE PERFILES INTERMAREALES.. | 4-67 |
| 4.1     | Introducción.....  | 4-67 |
| 4.2     | Revisión de algoritmos de detección de bordes.....         | 4-70 |
| 4.2.1   | Introducción.....  | 4-70 |
| 4.2.2   | Generalidades.....   | 4-71 |
| 4.2.3   | Operador Canny.....  | 4-72 |
| 4.2.3.1 | Disminución del Ruido.....                                 | 4-72 |
| 4.2.3.2 | Detección de Bordes.....                                   | 4-73 |
| 4.2.3.3 | Supresión No-Máxima.....                                   | 4-74 |
| 4.2.4   | Operador Sobel.....  | 4-74 |
| 4.2.5   | Método “RatiosRGB”.....                                    | 4-75 |
| 4.2.6   | Método “Shore Line Detection” (SDM).....                   | 4-76 |



|         |  |       |
|---------|--|-------|
| 4.2.7   | Método “Pattern Recognition of Water and Land” (PatternWL) ..... | 4-78  |
| 4.2.8   | Transformada de Hough .....                                      | 4-80  |
| 4.3     | Algoritmos propuestos.....                                       | 4-82  |
| 4.3.1   | Método “Color Reduction” .....                                   | 4-82  |
| 4.3.2   | Método “ <i>RatiosRGB</i> ” Modificado .....                     | 4-86  |
| 4.4     | Modelo “PSDMHORUS” .....   | 4-90  |
| 4.4.1   | Introducción.....  | 4-90  |
| 4.4.2   | Metodología Propuesta .....                                      | 4-92  |
| 4.4.3   | Criterios de Rechazo y Aceptación.....                           | 4-94  |
| 4.4.3.1 | Criterio Estadístico .....                                       | 4-95  |
| 4.4.3.2 | Criterio Físico.....   | 4-97  |
| 4.4.3.3 | Criterio de Ascenso y Descenso de Marea .....                    | 4-99  |
| 4.4.4   | Ventajas y mejoras involucradas en el PSDMHORUS. ....            | 4-100 |
| 4.5     | Discusión sobre los métodos .....                                | 4-101 |
| 4.6     | Validación metodológica.....                                     | 4-105 |
| 5.      | CASO DE APLICACIÓN .....   | 5-109 |
| 5.1     | Introducción .....   | 5-109 |
| 5.2     | Descripción de la zona de estudio .....                          | 5-109 |
| 5.2.1   | Clima Marítimo .....   | 5-112 |
| 5.2.1.1 | Marea.....   | 5-112 |
| 5.2.1.2 | Viento .....   | 5-115 |
| 5.2.1.3 | Oleaje.....  | 5-116 |
| 5.3     | Oleaje a pie de playa.....                                       | 5-118 |
| 5.3.1   | Cubo de Interpolación.....                                       | 5-119 |
| 5.3.1.1 | Resultados de Aplicar el Cubo de Interpolación .....             | 5-123 |
| 5.4     | Evolución morfológica .....                                      | 5-125 |
| 5.5     | Indicadores costeros .....                                       | 5-130 |
| 6.      | CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS DE TRABAJO .....                   | 6-132 |
| 6.1     | Futuras Líneas de Investigación .....                            | 6-134 |



METODOLOGÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE  
INDICADORES MORFODINÁMICOS A TRAVÉS DEL USO  
DE CÁMARAS DE VÍDEO. CASO DE APLICACIÓN:  
PLAYA DE LA MAGDALENA (CANTABRIA, ESPAÑA)



7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....6-137

# 1. INTRODUCCIÓN.

## 1.1 MOTIVACIÓN

Los sistemas naturales como los entornos costeros cumplen diversas funciones, tales como regulación del clima, protección de las poblaciones ante eventos naturales extremos, proveedores de recursos, espacios lúdicos, entre muchos otros (Osorio, 2005). Colombia se encuentra en una ubicación geográfica estratégica al poseer acceso a los océanos Pacífico y Atlántico, traducándose en grandes ventajas para el transporte marítimo y para el uso de la enorme cantidad de recursos que éstos proveen, lo que refuerza la necesidad de conservarlos y entenderlos.

Los sistemas marino-costeros son sometidos a presiones antrópicas y naturales que amenazan con dañar o afectar fuertemente el desempeño de muchos de sus usos, por tanto es de gran importancia conocerlos y gestionarlos adecuadamente. Uno de los principales problemas identificados al momento de desarrollar investigaciones y cuando se pretende realizar adecuadas gestiones sobre los entornos costeros es la falta de información para llevarlas a cabo (Southgate *et al.*, 2003). Dichas dificultades son de distinta naturaleza tales como:

Colombia, en su posición de país en vía de desarrollo presenta fuertes limitaciones económicas que restringen el gasto en actividades asociadas a la investigación. Aunque en los últimos años se han realizado grandes esfuerzos en aumentar el presupuesto destinado a este fin, el camino aun es largo teniendo en cuenta que la mitad del territorio nacional corresponde a zonas marítimas. Es en estas condiciones que la necesidad de buscar métodos de monitoreo más económicos toma una mayor importancia, con la intención que comunidades con condiciones financieras limitadas no sean marginadas en el desarrollo científico por la incapacidad de nutrirse de información de sus sistemas naturales.

Los procesos marino-costeros se dan en un amplio rango de escalas espaciales y temporales; desde los metros a los cientos de kilómetros y desde los minutos a los siglos respectivamente (De Vriend, 1997; Stive *et al.*, 2002), por lo que la definición de estrategias de monitoreo dista por mucho de ser algo trivial. Con ella se busca obtener la mejor relación costo-beneficio en cuanto al tipo, cantidad y

calidad de información que es susceptible de ser recopilada, mediante la optimización de los parámetros que definen el sistema.

Los sistemas de toma de datos pueden ser muy diversos y varían en costos según sus especificaciones técnicas, tipo de tecnología, niveles de precisión, etc. Se puede nombrar el video digital, fotografía digital, radar, sensores de infrarrojos, entre otros, como alternativas relativamente recientes que han surgido para suplir las necesidades de información en las diversas escalas espaciales y temporales (Aarninkhof, 2003; Lillesand *et al.*, 1987). Es en este punto cuando las técnicas basadas en imágenes de video surgen como una alternativa que permite el sensado de variables en un gran rango de escalas a costos económicos muy bajos en comparación con los métodos tradicionales.

Existen diversas iniciativas mundiales y regionales para aplicar alternativas a la obtención de parte de esta información (Osorio *et al.*, 2007; Kroon *et al.*, 2007; Davidson *et al.*, 2007), entre ellas el uso de sistemas basados en video y/o en imágenes para realizar un seguimiento continuo de diversas variables, entre las que se puede mencionar: líneas de costa, perfiles de playa, batimetrías y topografías, oleaje, sistemas de corrientes en el mar, vertidos en el mar, número de usuarios en las playas y el número de barcos en los puertos, entre otros. La medición de variables a través del tratamiento digital de imágenes involucra diversas disciplinas y debe tener en cuenta que según la naturaleza de la variable a medir se escogerá la aproximación teórica y práctica.

Este trabajo busca el desarrollo del sistema HORUS, una plataforma que permite la obtención de información ambiental a una resolución espacial y temporal adecuada a partir de cámaras de video durante largos periodos de tiempo, con el fin de poder construir indicadores que ayuden en la toma de decisiones a los gestores. Se propone una metodología para la obtención de variables geomorfológicas a través del tratamiento digital de imágenes a partir de una aproximación 2D del fenómeno, la construcción del modulo PSDMHORUS y STACKHORUS y su caso de aplicación para la playa de La Magdalena, ubicada en Santander – España. Además, se incluye un estudio de los datos obtenidos por dichos módulos, un análisis morfodinámico bajo la lente de las condiciones hidrodinámicas de la zona, evidenciando finalmente la utilidad de la herramienta computacional desarrollada y de la metodología que la contiene.

## 1.2 OBJETIVOS DE LA TESIS

Se ha planteado como objetivo principal de este trabajo la formulación y aplicación de una metodología que permita construir indicadores útiles para la ingeniería costera a partir de imágenes de vídeo, para lo cual se proponen los siguientes objetivos específicos:

- Desarrollar un sistema que permita el almacenamiento, depuración y procesamiento de datos para la construcción de indicadores útiles para la gestión costera, particularmente aquellos basados en la detección de la línea de costa y capaz de publicar sus resultados en la Web, mediante la construcción de algoritmos e interfaces gráficas.
- Desarrollar una metodología para la estimación de perfiles intermareales a partir de imágenes de vídeo, permitiendo su seguimiento temporal con el fin de identificar y cuantificar patrones de erosión – sedimentación.
- Determinar la precisión de la metodología propuesta mediante la calibración y validación para las playas de La Magdalena, Cantabria – España.
- Evaluar la respuesta morfológica a las condiciones hidrodinámicas en el periodo de estudio en las playas de La Magdalena, mediante la aplicación de la herramienta informática desarrollada.
- Mostrar la utilidad de este tipo de metodologías, sistemas e indicadores en la búsqueda de soluciones a problemáticas costeras, promoviendo así su implementación en playas colombianas y suramericanas.

## 1.3 CONTENIDO DEL TRABAJO

Este trabajo se puede clasificar en tres grandes partes: la primera es una visión general del estado del arte, los sensores remotos y algunas de sus aplicaciones a la zona costera mostradas en el capítulo 2; la segunda parte corresponde a la construcción e implementación de técnicas y metodologías propuestas en la literatura y por el autor dentro de la herramienta HORUS, el cual constituye parte fundamental de los aportes de este trabajo tal y como se explica en los capítulos 3 y 4. Una última parte es donde se discute la utilidad, precisión y limitaciones de la herramienta a través del análisis del caso de estudio de la playa de La Magdalena, Cantabria – España en el capítulo 5.



METODOLOGÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE  
INDICADORES MORFODINÁMICOS A TRAVÉS DEL USO  
DE CÁMARAS DE VÍDEO. CASO DE APLICACIÓN:  
PLAYA DE LA MAGDALENA (CANTABRIA, ESPAÑA)



## 2. SENSORES REMOTOS BASADOS EN SISTEMAS DE VÍDEO Y SU APLICACIÓN EN ZONAS COSTERAS

### 2.1 INTRODUCCIÓN

La adquisición de datos a partir de técnicas basadas en los sensores remotos ha tenido un gran auge en las dos últimas décadas por ser una alternativa cada vez más accesible y que presenta grandes ventajas en cuestión de las escalas a la que la información puede ser levantada. Las fotografías aéreas, imágenes de satélite, mediciones con tecnología radar, sistemas de video, entre otras, han mostrado su utilidad en la medición de innumerables variables de manera directa y muchas otras por inferencia gracias a procesamientos de información y al entendimiento de los fenómenos estudiados. De cualquier manera, todos ellos parten de características visibles en su campo de medida y cuando esta información puede ser llevada a un sistema coordinado conocido, se pueden realizar análisis de evolución espacio-temporal del fenómeno, lo que en muchos casos da una óptica interesante de cualquier variable. Afortunadamente, muchos procesos litorales pueden ser inferidos a partir de marcas o rasgos visibles sobre la superficie del mar, lo que abre la posibilidad de que estos sean medidos a través de sensores remotos. Algunos ejemplos típicos de estos rasgos son:

- Las variaciones del coeficiente de reflexión del agua como indicativo para medir el periodo, la longitud de onda y dirección de oleaje (Walker, 1994).
- La zona de rompientes es fácilmente identificable por la presencia de turbulencia y espuma, lo que permite estudiar su fluctuación en el tiempo y observar la dinámica de las barras presentes (Lippmann y Holman, 1991).
- La espuma que dejan las olas al romper puede actuar como trazador indicando la dirección y magnitud de corrientes circulatorias presentes en la zona de rompientes.

- Dada la relación directa que existe entre la altura de la ola, su peralte y la profundidad del fondo en la zona de rompientes, se puede inferir la presencia de barras sumergidas.
- La relación entre la celeridad de la onda (olas) y la profundidad del fondo puede ayudar a inferir la batimetría sub-mareal.
- La interfase entre agua y tierra y su variación debido a las condiciones de marea y oleaje.

Los fenómenos y procesos que tienen lugar en los ambientes marino-costeros revisten de una alta complejidad, tanto desde el punto de vista teórico como desde su medición en campo. Una de las principales razones para esto es el amplio rango de escalas espaciales y temporales de dichos fenómenos. Podemos hablar en la escala espacial del orden de los centímetros en la formación de *ripples*<sup>1</sup> hasta los kilómetros en la formación de *mega cups*<sup>2</sup>; y en la escala temporal podemos observar variaciones en la configuración en el perfil transversal de playa a causa de temporales en el orden de los minutos-horas, mientras que cambios en la forma en planta pueden tardar años. Es este panorama el que le da toda la aplicabilidad al uso de los sensores remotos para buscar un mejor monitoreo, con mejor resolución espacial y temporal, por periodos más largos a un costo menor.

Sin embargo, las metodologías basadas en sensores ópticos presentan grandes limitaciones de diferente tipo (Holman y Stanley, 2007). Hablando específicamente del monitoreo de procesos litorales se mencionan solo algunas:

- La presencia de agua muy transparente provoca distorsiones de la señal recibida pues ésta termina siendo respuesta del fondo y no del agua. Afortunadamente, la presencia de esos niveles de transparencia son poco usuales y no constituye un problema común.
- Cuando el agua es extremadamente turbia, la señal recibida por los sensores corresponde a una capa superficial del agua, afortunadamente la dinámica en la zona de rompientes es

---

<sup>1</sup> Forma rugosa del fondo similar a las dunas pero de pequeñas dimensiones, ocasionada por el transporte de sedimentos.

<sup>2</sup> Formación en planta de la costa provocada por corrientes circulatorias que generan un esquema repetitivo en la playa de semi-círculos.



aproximadamente uniforme en la vertical. Sin embargo la detección de ciertos rasgos se hace más difícil por la disminución en los contrastes presentados por los diferentes fenómenos visibles en la imagen (Osorio, 2005).

- La mayoría de sistemas tienen restricciones según las condiciones lumínicas del sol al no poseer fuente propia de iluminación, restringiendo las mediciones a las horas diurnas, cuando no hayan condiciones de tormenta, nubosidad alta o niebla que afecten el sensado.

## 2.2 SENSORES REMOTOS

En términos generales podemos hablar de tres características que definen el alcance de una metodología para realizar mediciones de variables, particularmente de fenómenos marinos y costeros: la resolución espacial, la resolución temporal y la extensión del área de estudio que logra abarcar. Los sensores más comunes aquellos que pueden alcanzar resoluciones espaciales muy altas, pero al estar basadas en tecnologías muy complejas o que requieren mucho trabajo resultan ser muy costosas, lo cual limita de manera fuerte su uso o simplemente tienen fuertes restricciones temporales. Para mencionar algunos:

**LIDAR:** este es un sensor tipo láser que funciona como un escáner 3D con la capacidad de levantar con gran precisión pues poseen la capacidad de levantar entre 10.000 y 100.000 puntos por segundo (Curlless, 2000). Este sensor es acoplado generalmente a un avión y realiza un barrido en su recorrido. Esta metodología posee restricciones grandes por lo costoso de su puesta en marcha, de los equipos y porque no es posible realizar este tipo de levantamientos con frecuencias temporales altas.

**FOTOGRAFÍA AEREA:** funciona con el montaje de una cámara (análoga o digital) en un avión, el cual realiza un barrido sistemático sobre la zona que se desea cartografiar. Dichas fotografías funcionan como insumo para la aplicación de la fotogrametría para la restitución de la información levantada en tres dimensiones. Esta técnica presenta las mismas restricciones temporales que la tecnología LIDAR y su cobertura está directamente ligada a la escala espacial de medición, pues ésta está dada por la altura del vuelo al momento de la toma de datos.

**IMÁGENES SATELITALES:** éstas son tomadas por un sensor montado en un satélite artificial que orbita sobre la tierra, el cual envía una señal a la tierra y captura su respuesta para medir

características que puede medir la naturaleza de la onda enviada. Los costos de enviar y mantener un satélite son muy altos y por tanto su acceso es privilegiado; además, la frecuencia de medición posible en un mismo punto está condicionada a la órbita que generalmente tarda días en completarse pero que permite una gran cobertura espacial por su recorrido alrededor de la tierra.

**BATIMETRÍA TRADICIONAL:** ésta generalmente se levanta con el uso de equipos como el sonar o ecosonda, los cuales estiman la distancia a objetos (como el fondo) mediante la medición del tiempo que tarda en rebotar una señal sobre el mismo y cuya georeferenciación se hace actualmente con tecnología GPS. La resolución espacial de esta metodología depende de la densidad de la nube de puntos levantados y presenta limitaciones importantes tanto en la extensión de la zona a medir como en la resolución temporal por lo lento del proceso pues parte de mediciones puntuales y no zonales como las mencionadas anteriormente.

**RADAR:** esta técnica se basa en la emisión de ondas que inciden sobre el objetivo, la señal reflejada es leída y generalmente amplificada por un receptor, permitiendo calcular su posición, velocidad, dimensiones y otras características. Para el caso de medición de variables oceanográficas se usa el espectro que va desde el infrarrojo (IR) hasta las microondas (MW) y la alta frecuencia (HF). El modo de funcionamiento y algunas comparaciones técnicas aplicadas a variables oceanográficas y costeras son explicadas detalladamente en Gronlie (2004) y Plant y Shuler (1980).

**ESTACIONES DE VÍDEO:** ubicadas generalmente sobre estructuras altas, permiten la estimación de múltiples variables a través del tratamiento digital de imágenes y videos que éstas toman. Se pueden obtener mediciones con precisión del orden de los centímetros y tomar con frecuencias de varios cuadros por segundo si se desea. El costo de montaje y mantenimiento de estas estaciones es bastante bajo en comparación con las técnicas tradicionales, por lo que se pueden tener largos periodos de tiempo recopilando información con las ventajas de resolución ya mencionadas. Una de las más importantes limitaciones es que la extensión de la zona de estudio no supera el orden de los 4 kilómetros (Osorio, 2005); sin embargo, los bajos costos asociados a estas estaciones permitiría el montaje de varias para cubrir mayores extensiones.

## 2.3 SISTEMAS BASADOS EN VÍDEO

Los inicios de la aplicación de sistemas ópticos en zonas costeras se da a mediados de la década de los 80's cuando la *Oregon State University* (OSU) creó el *Coastal Imaging Lab* (CIL), en donde se inició la experimentación con fotografías instantáneas para tratar de capturar series de tiempo de

*runup*<sup>3</sup> en un área de playa de la ciudad de Oregon (Estados Unidos) (Holman y Bowen, 1984). En dicha zona bajo condiciones de tormenta, las olas alcanzan alturas de hasta 5 m y una zona de *surf* de hasta 1 Km., lo que hacía que la medición por métodos tradicionales fuera prácticamente imposible.

En 1986 en Duck, North Carolina (Estados Unidos), se comenzaron a realizar pruebas con imágenes denominadas *Timex*, las cuales son el promedio de las imágenes tomadas en un periodo de diez minutos, con la intención de conocer mejor la dinámica de la zona de *swash*<sup>4</sup> en algunas playas de la zona. Los resultados obtenidos fueron muy heterogéneos y no ofrecieron mayor conocimiento del fenómeno; sin embargo, encontraron una visualización útil de la zona de rotura del oleaje previa a la que se producía en la orilla, lo que parecía estar relacionado con la presencia de barras que inducían la rotura. Se encontraron relaciones entre la localización de dichas barras y el tiempo de promediado de imágenes (Lippmann y Holman, 1989; Lippmann y Holman, 1990; Aarnikhof, 1996; van Ennekevort y Ruessink, 2001) ayudando al entendimiento de la dinámica de las barras y mostrando la alternativa de utilización de un sistema basado en imágenes de bajo costo que permitiera la obtención de datos por largos periodos de tiempo a una resolución temporal y espacial acorde a los fenómenos.

Dada la necesidad de automatizar todos los procesos relacionados con la digitalización de las imágenes y video, al igual que todo el post-procesamiento de la información, surgió el sistema Argus con su primera estación en el año de 1992. Ubicada en Yaquina Head, Oregon, ésta se conectaba vía Internet con la OSU permitiendo la toma de datos de manera continua en las horas diurnas (Osorio, 2005), así nació la primera generación del sistema Argus. Sin embargo, el desarrollo tecnológico en la capacidad de procesamiento y en la resolución de captura de imágenes-videos digitales ha permitido un avance importante en el alcance de las aplicaciones desarrolladas para el monitoreo ambiental, permitiendo la evolución de Argus en dos generaciones más, tal y como se describe en detalle en Holman y Stanley (2008). De igual manera, han surgido de forma paralela múltiples iniciativas alrededor del mundo buscando soluciones a necesidades particulares

---

<sup>3</sup> Sobre-elevación del nivel del mar en cercanías a la costa por causa del oleaje.

<sup>4</sup> es la zona en la que, tras la rotura de la ola, la lámina de agua llega a la línea de costa y asciende por *runup* y posteriormente desciende por efecto de la gravedad (*run-down*).

aprovechando este enfoque, como son los casos del proyecto INDIA (Morris *et al.*, 2001 y, el proyecto HORS (Takewaka *et al.*, 2002) para el monitoreo costero a través de globos aerostáticos, entre otros.

## 2.4 APLICACIONES A LAS ZONAS COSTERAS

La fiabilidad, precisión y versatilidad de los sistemas de vídeo costeros han sido rigurosamente demostrados y revisados en la literatura científica (e.g. Aarninkhof *et al.*, 2000, 2005; Alexander y Holman, 2004; Chickadel *et al.*, 2003; Holman y Guza, 1984; Stockdon y Holman, 2000, Holland y Holman, 1993a; Holland y Holman, 1993b; Holland y Holman, 1999; Holland *et al.*, 2001; Holman *et al.*, 1991; Lippmann y Holman, 1989; Lippmann y Holman, 1991; Plant y Holman, 1997).

Entre otras aplicaciones que han sido desarrolladas, cabe destacar algunas relacionadas con parámetros hidrodinámicos: la obtención de datos de corrientes por medio del vídeo (Chickadel *et al.*, 2003, Holland y Holman, 1997, Stockdon y Holman, 2000), medición de parámetros del oleaje (Stockdon y Holman, 2000; Aarninkhof *et al.*, 2001; Lippman y Holman, 1991), mediciones del ascenso/descenso por taludes de playas *swash* (Holland y Holman 1999, 1993a; Holland *et al.* 2001), estudios de erosión y evolución de la línea de costa (Turner *et al.*, 2001), evolución de barras (Lippman y Holman, 1989, 1990), estabilidad de obras de defensa litoral (Holman y Guza, 1984).

Dentro del estudio morfodinámico de la costa, la detección de forma sistemática de elementos morfológicos a una alta frecuencia y larga duración, como son: la línea de costa, la localización de barras, canaletas de corrientes, morfología de zonas dunares, y en general la topo-batimetría de las playas. Dichos elementos permiten entender como ha sido la evolución de estos sistemas y proporciona información para predecir su comportamiento. Los modelos para inferir batimetrías intermareales a partir de imágenes de vídeo, generalmente detectan la línea de costa a partir de imágenes oblicuas o planas y estiman la coordenada *z* asociándola con las condiciones hidrodinámicas existentes en el momento de captura de la imagen.

La primera generación de modelos de detección de líneas de costa surgió cuando las estaciones Argus tomaban imágenes en escala de grises exclusivamente (Holman *et al.*, 1991; Plant y Holman, 1997; Janssen, 1997; Davidson *et al.*, 1997). Estos modelos pretendían identificar patrones

característicos en la distribución de intensidades de píxeles en la escala de grises muestreados transversalmente a la zona de *swash*. El modelo SLIM (Plant & Holman, 1997; Madsen & Plant, 2001) fue representativo de esta tendencia, utilizando la línea de rotura del oleaje observable (*ShoreLine Intensity Maximum*, SLIM) como una aproximación a la localización de la línea de costa. La aplicación del modelo SLIM se caracterizaba por ser un modelo robusto, fácilmente automatizable y que funcionaba muy bien en playas con una línea de rotura muy marcada, es decir, en playas con características reflejantes con condiciones de oleaje de moderadas a fuertes. Sin embargo, las características requeridas por este modelo no aparecen o están difusas en playas disipativas con barras emergentes. Esto provocó el desarrollo de modelos de detección de líneas de costa alternativos, que se basarían en la información de las imágenes en blanco y negro, pero que se diferenciaban del modelo SLIM en que la localización de la línea de costa se estimaba a partir de un dato característico, presente en la gráfica de intensidades existentes en un perfil transversal a la zona de *swash*, y de la varianza que presentasen los datos (Janssen, 1997) o de gradientes espaciales en los niveles de intensidad en las imágenes rectificadas (Davidson et al., 1997). La ausencia de un contraste bien marcado entre la intensidad de píxel de la zona emergida y la cubierta por agua a menudo provocaba resultados poco fiables de estos últimos modelos. Una dificultad añadida en los modelos de escala de grises era la necesidad de una corrección local para estimar la elevación de la línea de costa (Plant & Holman, 1997; Davidson et al., 1997). Holland & Holman (1997) resolvieron el problema de la estimación de la elevación de la línea de costa a partir de las condiciones hidrodinámicas en el momento de captura de la imagen, usando técnicas estereográficas. En una aplicación de pequeña escala detectaron la localización instantánea del límite exterior de la zona de *swash* en una región de 10 x 10 m<sup>2</sup> en imágenes instantáneas (*snaps*) medidas con una frecuencia de 10 Hz. La detección de múltiples líneas permitía cuantificar la topografía de la zona de rotura con una exactitud en la vertical de entre 1 y 3 cm., que permitía la detección de cambios morfológicos de pequeña escala. La aplicación de esta técnica en escalas espaciales de uno a varios kilómetros era limitada, lo que derivó en la necesidad de utilizar varias cámaras traslapadas. En resumen, los modelos de detección de la línea de costa desarrollados hasta 1997 carecían de una aplicabilidad genérica, eran complicados de utilizar o no cubrían las escalas espacio-temporales de interés.

La introducción del color en las imágenes Argus en 1997 provocó el desarrollo de una segunda generación de modelos de detección de líneas de costa. Las imágenes a color mostraban un

contraste visual entre la zona emergida de la playa y la sumergida. Esto se debe a la rápida atenuación de la longitud de onda del rojo en la capa superficial del agua, en comparación con la del azul, que puede alcanzar los 30 m de profundidad (Kingston *et al.*, 2003). Este efecto es mayor en zonas con elevada concentración de sedimentos, como la zona de *swash*. En la zona seca, por el contrario, el componente rojo no se ve afectado comparativamente y eso es lo que proporciona el gran contraste entre ambas zonas. Se han desarrollado varios modelos para detectar la línea de costa, basados en el contraste de color, utilizando técnicas de agrupamiento de píxeles (Aarninkhof & Roelvink, 1999; Aarninkhof & Kingston, 2002), redes neuronales (Kingston *et al.*, 2003), u observación de bandas de convergencia del color (Turner *et al.*, 2001).

En general la fiabilidad y precisión de los sistemas de vídeo costeros, como se decía al comienzo de esta sección, han sido ampliamente demostradas. Sin embargo, solo hasta los últimos años se está demostrando su potencial en cuanto a la Gestión Integrada de Zonas Costeras (GIZC). Por tal motivo, uno de los objetivos del proyecto Coastview era investigar y demostrar diferentes vías en las cuales los sistemas de vídeo podrían dar apoyo a procesos de manejo costero en costas sedimentarias. Dentro del ámbito de éste proyecto se han llevado a cabo aportes relacionados con distintos aspectos de la gestión costera como: la protección de la costa (Kroon *et al.*, 2007), recreación y seguridad en el baño en playas (Jiménez, *et al.*, 2007; Osorio *et al.*, 2003), seguridad en la navegación y planes de dragado (Medina *et al.*, 2007; Osorio *et al.*, 2004), avances en la tecnología de cámaras digitales que permiten mejores estrategias de toma de datos y altas resoluciones (Holman *et al.*, 2007). Finalmente, la alta resolución de toma de datos, en escalas de tiempo muy grandes, combinadas con una gran cobertura y resolución espacial, abren nuevas posibilidades en cuanto a la predicción de la evolución costera. En Smit *et al.*, (2007) se investigó el uso de las imágenes de vídeo como condiciones de contorno para modelos basados en procesos, aproximaciones de modelado inverso combinando vídeo-modelos y predicciones morfodinámicas con base en series de datos obtenidas de los vídeos.