

**UNIVERSIDAD DE CANTABRIA**

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS  
DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

---

**TESIS DOCTORAL**

Desarrollo de una metodología para el estudio de la  
morfología de playas basado en mapas auto-organizativos de  
imágenes digitales.

---

Presentada por: **OMAR QUETZALCÓATL GUTIÉRREZ GUTIÉRREZ**

Dirigida por: **ERNESTO MAURICIO GONZÁLEZ RODRÍGUEZ**  
**RAÚL MEDINA SANTAMARÍA**

Santander, julio 2011

# Conclusiones y futuras líneas de investigación

---

## 8.1. Conclusiones

En este trabajo se planteó el uso de Mapas Auto-Organizativos para estudiar la morfodinámica de playas a partir de IMDP, para lo cual se profundizó en la técnica, se realizaron pruebas de clasificación de IMDP siguiendo las recomendaciones bibliográficas, se realizaron nuevas propuestas y se experimentó con ellas hasta conseguir la clasificación óptima. Posteriormente se diseñó una metodología a seguir para estudiar una playa a partir de las IMDP y se aplicó a dos playas de diferentes características. En la playa del Puntal, macromareal, se analizaron las variaciones morfodinámicas en general y se realizó una clasificación en función del modelo WS84 y en la playa de la Barceloneta, micromareal, se estudió la evolución de la línea de costa a partir de las posiciones obtenidas de los prototipos encontrados.

Los SOMs son redes neuronales, competitivas, no supervisadas, que son capaces de trabajar con espacios vectoriales de altas dimensiones, y tienen la capacidad de detectar en una base de datos, grupos de características homogéneas. En estos grupos, se cumple que las diferencias internas, de cada grupo, son mínimas, mientras que las

diferencias entre grupos son maximizadas. Además, los resultados son presentados en un mapa bidimensional en el que son proyectados los vectores multidimensionales, esto permite analizar fácilmente los resultados. Los SOMs han sido utilizados en la clasificación de imágenes digitales con éxito *e.g.*, **PicSOM** (*Laaksonen et al.*, 2000), que esta basado en el uso de parámetros calculados a partir de los valores del color de la imagen y de la textura. La diferencia fundamental en el uso de SOMs en la clasificación de imágenes, comparado con variables geofísicas consiste en que, las últimas tienen un sentido físico, en función de lo cual se realiza la clasificación. Las imágenes digitales, por el contrario, son un conjunto de valores de intensidad de píxel o de color que no tienen una relación física con el contenido de la imagen. Por lo tanto el aspecto más importante en la adaptación de los SOMs para clasificar imágenes digitales se ha enfocado en el aspecto de determinar los parámetros más adecuados a calcular a partir de las imágenes, así como la métrica a utilizar.

Se realizaron experimentos usando los parámetros propuestos por *Laaksonen et al.* (2000) y *Chesnut* (2004) para realizar entrenamientos de IMDP en función de las características morfológicas observadas en las mismas. Los resultados no fueron adecuados, por las características particulares de las IMDP. Por tanto se consideró entrenar los SOMs usando los valores de luminancia de las IMDP. Se desarrolló un preprocesamiento para descartar variaciones de forma y color en las IMDP debidas a los efectos de la marea, meteorología y horas del día en que fueron obtenidas las IMDP. El efecto de la marea es descartado seleccionando una IMDP diaria a un nivel de marea prefijado. Se encontró que los niveles por debajo del nivel medio son los más adecuados. Los efectos meteorológicos y horarios se descartaron aplicando una ecualización del histograma de las IMDP y separando de la colección a aquellas que no cumplan con los criterios de playa y agua elegidos. El hecho de que las IMDP tienen una resolución alta, produce que el número de parámetros sea elevado para el entrenamiento, por lo que las dimensiones de las IMDP se redujeron. También se realizaron entrenamientos usando diferentes resoluciones de las IMDP, con el objetivo de determinar su influencia en los entrenamientos. En lo que respecta a la métrica utilizada en los en-

trenamientos, se analizaron e incorporaron a la técnica diferentes medidas de distintos niveles de complejidad, aunque finalmente se descartaron las más complejas, debido al elevado número de comparaciones necesarias en los cálculos. Estas medidas son útiles para detectar objetos que se mueven dentro de la imagen o para clasificar imágenes obtenidas desde diferentes ángulos. Estas condiciones en general no se cumplen en las IMDP. Las medidas de complejidad más baja presentaron resultados adecuados, sin embargo la correlación presentó resultados ligeramente superiores con el menor costo computacional.

Se desarrolló una metodología que permite clasificar cualquier colección de IMDP en función de las características morfológicas. La metodología se encuentra formada por tres partes, en la primera las IMDP son procesadas para eliminar fenómenos externos e internos que afectan la clasificación; en el segundo se realiza el entrenamiento del SOM y en el tercero se reconstruye una serie de evolución y se evalúa el resultado. El procesamiento de las IMDP incluye la reducción y rotación del área de interés, la eliminación de los efectos producidos por la marea, meteorología y cambios horarios, y finalmente la creación de los datos de entrada para el entrenamiento. La segunda parte de la metodología consiste precisamente en el entrenamiento de un SOM utilizando las IMDP previamente procesadas. El entrenamiento se realiza utilizando la correlación como métrica y posteriormente se determinan las IMDP prototipos de cada unidad del mapa. Finalmente, en la tercera parte, se asigna una categoría a cada unidad del mapa y se plantea la formación de supergrupos, con lo que se reconstruye una serie temporal. El procedimiento tiene dos fuentes de error, uno sistemático que puede ser eliminado utilizando un filtro de media o moda móvil, y un segundo aleatorio que depende de las dimensiones de mapa elegidas en el entrenamiento y los supergrupos. Para asegurar el menor error aleatorio es necesario repetir el procedimiento para asegurar que la serie obtenida es convergente. la metodología se resume en la figura 5.7.

La metodología desarrollada se aplicó a dos playas, de las que se cuenta con colecciones de IMDP. En el primer caso, la playa del Puntal en Santander de características macromareales, se obtuvo una clasificación en función de la evolución de barras y

canales, y se aplicó el modelo de WS84 para generar una serie de evolución; en el segundo, la playa de la Barceloneta en Barcelona, de características micromareales y en la que no son dominantes las barras se utilizó como criterio de clasificación la forma y posición de la línea de costa.

La clasificación óptima de las IMDP de la playa del Puntal se obtuvo en un mapa de  $11 \times 11$  unidades, con un error menor al 22 %, sin embargo se demostró que este error es fácilmente identificado y corregido con una simple inspección visual de los segmentos con incertidumbre. La serie encontrada describe ciclos anuales con estados reflejantes en verano y disipativos en invierno. Los periodos reflejantes son largos ( $\sim 4$  meses) y los cambios de estado ocurren en general entre estados consecutivos, mientras que los estados disipativos son cortos y los cambios son entre estados no consecutivos. Se encontró que no hay un estado modal predominante, ya que los estados *RBB*, *TBR* y *LTT* se encontraron el 23 %, 25 % y 21 % del tiempo respectivamente. Los estados energéticos *Disipativo* y *LBT* se observaron durante el 8 % del tiempo cada uno y el estado *Reflejante* un 15 %. Se realizó una clasificación visual de la colección de IMDP, con la intención de comparar los resultados, aunque esto no se puede considerar una validación del resultado obtenido con la metodología. La serie obtenida tiene una correlación del 88 % con la obtenida a partir del SOM y presenta características similares. Al analizar algunos segmentos con discrepancias entre ambas series se encontró que, al comparar las IMDP de estos segmentos con otros en los que ambas técnicas coinciden, la clasificación visual lleva a confundir estados debido a que los cambios morfológicos son lentos y a la necesidad de recordar los detalles de las IMDP ya observadas.

En el caso de la playa de la Barceloneta la clasificación más adecuada se obtuvo utilizando un mapa de  $8 \times 7$  unidades, con lo que se redujo el trabajo de detección de la línea de costa de 15,330 IMDP a solo 56 IMDP prototipos representativos de la variabilidad de la playa. Las líneas de costa de los prototipos del mapa de  $8 \times 7$  se determinaron digitalizando directamente las IMDP correspondientes sin rectificar. Esta línea de costa fue asignada a cada una de las IMDP de las unidades del mapa y se reconstruyó una serie temporal. La serie temporal fue evaluada en dos pasos: primero

se comprobó visualmente la línea de costa asignada a cada IMDP, y se descartaron aquellas en las que la asignación fue incorrecta. Estos casos respresentaron menos del 7% de las IMDP clasificadas. Posteriormente, para evaluar la precisión de las líneas de costa de los prototipos con las IMDP, se seleccionaron aleatoriamente el 10% de las IMDP de las que se obtuvo una nueva línea de costa. Las líneas de costa obtenidas del mapa y la determinada directamente de la IMDP se compararon y se encontró que la diferencia cuadrática media entre ambas es menor a 5 *mts* en la dirección perpendicular a la línea de costa. En la reconstrucción de la serie de evolución de la línea de costa se encontró un comportamiento estacional con retrocesos de la línea de costa durante los inviernos y basculamientos de la zona sur en verano. Se encontró que la playa estacionalmente tiene avances y retrocesos del orden de los 10 *mts*. Se detectaron las regeneraciones realizadas en el 2004 y en el 2006, así como los cambios producidos por la construcción del dique exento al final del periodo analizado.

Finalmente queda de manifiesto la capacidad de la técnica y la metodología desarrollada en este trabajo para analizar y clasificar IMDP y de esta forma proporcionar datos adecuados para estudiar la evolución tanto de corto, medio y largo plazo de las playas.

## 8.2. Futuras líneas de investigación

Finalmente una vez analizados los resultados obtenidos en este trabajo, se distinguen dos principales líneas de trabajo a futuro. La primera relacionada con mejoras en la aplicación de la técnica de SOMs, en la metodología y desarrollo de nuevas aplicaciones; la segunda enfocada en la aplicación de los resultados de evolución obtenidos tanto en la playa del Puntal y la Barceloneta.

Entre las posibles direcciones a seguir en cuanto a la técnica, metodología y nuevas aplicaciones destacan

### 1. Complejidad de las métricas:

En este trabajo se explicó que las métricas más apropiadas para la comparación de imágenes digitales tienen un orden de complejidad elevado, y requieren de mayor tiempo para realizar comparaciones entre las imágenes. Esta es la principal razón por la que estas medidas fueron descartadas, puesto que el número de comparaciones es elevado. Sin embargo con el uso de computadoras más avanzadas, y enfocando la clasificación a zonas o elementos de la playa reducidos, podría ser factible el uso de estas métricas. El uso de métricas como estas permite organizar IMDP que incluso se encuentren ligeramente desplazadas.

### 2. Acotamiento de dimensiones de los mapas para los entrenamientos:

El tamaño del mapa para entrenar una colección de IMDP depende principalmente del número de IMDP, de la variabilidad morfológica contenida en las mismas y del grado de precisión de la clasificación deseada. En este trabajo se establecieron como límites entre el 10 % y el 50 % del número de IMDP finales a entrenar, sin embargo este intervalo sigue siendo amplio. El aumento de la experiencia en la metodología usando nuevas colecciones en diferentes aplicaciones permitirá acotar este intervalo e incluso definir criterios en función del objetivo de clasificación o número de IMDP.

### 3. automatización de la clasificación:

Incorporar esta técnica en las estaciones de almacenamiento permitiría descartar al instante IMDP de mala calidad, lo que economizaría no solo espacio de almacenamiento, sino tiempo de evaluación de la calidad de las IMDP para ser analizadas o utilizadas.

### 4. Desarrollo de un modelo de evolución de estados morfodinámicos:

Aplicar la metodología en el desarrollo de un modelo de evolución de estados morfodinámicos, teniendo en cuenta la memoria del sistema.

### 5. Generación de series temporales:

Aprovechar de manera eficaz las estaciones de cámaras de video para generar

series temporales de elementos morfológicos (líneas de costa, forma y tamaño de barras, etc) para desarrollar modelos numéricos de evolución de medio-largo plazo y validar los estados intermedios de evolución.

### 6. Analisis del corto plazo:

Estudiar los procesos erosivos producidos por temporales y eventos de corto plazo.

En el caso de las aplicaciones realizadas:

#### 1. En la playa del Puntal:

Contar con series largas con datos a intervalos de tiempo cortos, permite llevar a cabo estudios que de otra forma resultan inviables

- la morfología de una playa esta directamente relacionada con el oleaje incidente, sin embargo a lo largo de una misma playa el oleaje tiene diferentes características lo que lleva a variaciones de la morfología en una misma playa. Hasta ahora, por la dificultad de realizar las mediciones, se determina un estado promedio para toda la playa. El uso de las IMDP y la técnica aquí propuesta permite, analizar por primera vez diferentes secciones de la misma playa.
- La obtención, con mayor facilidad y economía, de series más precisas de la morfología de una playa permite estudiar más a fondo su relación con el oleaje y marea y desarrollar mejoras a los modelos existentes.
- El objetivo final del estudio de la morfodinámica de playas es el desarrollo de modelos de evolución, que permitan predecir a partir del oleaje incidente en una playa la situación morfológica de la misma a un tiempo dado.

#### 2. En la playa de Barceloneta:

- Como se mostró previamente por medio de la metodología desarrollada se obtienen series de la posición de la línea de costa con alta resolución y lo

suficientemente largas. En estas series se observa los procesos de erosión y acreción de la línea de costa, por lo que esta técnica puede ser utilizada como fuente de información para estudiar la evolución de la línea de costa y generar modelos de corto, medio y largo plazo.