

**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

# Estudio de la Evolución Morfodinámica de la Playa del Puntal

---

## 6.1. Introducción

La morfodinámica de una playa, esta dada por la interacción de procesos dinámicos *i.e.* variación del nivel del mar, altura y dirección del oleaje, el tipo de rotura del mismo, corrientes locales, etc; sobre las características morfológicas *i.e.* condición morfológica inicial, tamaño de sedimento, disponibilidad de sedimento, etc (*Short, 1979*). Es precisamente en este carácter general donde radica la complejidad de medirla, aun así determinar como evoluciona una playa es de gran importancia tanto para científicos e ingenieros. A partir de los años 80's se realizaron observaciones y se desarrollaron diversos modelos morfodinámicos (*Short, 1979; Wright et al., 1979; Wright y Short, 1984; Wright et al., 1985; Masselink y Short, 1993*). En estos se describen diversos estados, que varían desde el totalmente disipativo al totalmente reflejante. El modelo más aceptado, para playas micromareales, de *Wright y Short (1984)* (de aquí en adelante WS84), esta formado por 6 estados de playa, los dos previamente mencionados, que hacen de extremos, y cuatro estados intermedios. Los autores definieron una firma

para cada estado, en las que se definen de forma esquemática las características de cada estado.

En general las clasificaciones realizadas por los autores antes mencionados están basadas en la experiencia de observación de los mismos. Estas están limitadas principalmente por la subjetividad del observador, la extensión del área y la frecuencia de las observaciones. Mejorar la calidad de las observaciones puede proveer de información esencial para estudiar cómo y cuándo ocurren los cambios de estados, así como información indispensable para mejorar los modelos existentes.

En este capítulo se aplica la metodología desarrollada previamente para obtener una serie de evolución morfodinámica de la playa del Puntal a partir de la colección de IMDP. Posteriormente, las IMDP se clasifican visualmente y se obtiene una serie de evolución adicional de manera tradicional. Ambas series son comparadas y se discuten las ventajas de la metodología expuesta.

## **6.2. Área de estudio y colección de IMDP**

### **6.2.1. Caracterización del área**

La playa del Puntal es la parte exterior de la flecha arenosa que separa la Bahía de Santander del mar exterior (Figura 6.1). La Bahía de Santander se encuentra localizada en la costa norte de la Península Ibérica (Costa Cantábrica), aproximadamente en  $43.27^{\circ}\text{N}$  y  $3.48^{\circ}\text{W}$  (ver figura 6.2). La bahía tiene características estuarinas y en ella desembocan los Ríos Miera y Cubas. La conexión con el mar exterior se realiza a través de una desembocadura, de unos 700 m de ancho, orientada al noreste.

## 6.2 Área de estudio y colección de IMDP



Figura 6.1. Localización de la playa del Puntal en la Bahía de Santander. Tomada de Google Earth

La flecha arenosa, inicia en el extremo oriental de la bahía, en las inmediaciones de la Isla de Santa Marina y avanza hacia el oeste hacia la Península de la Magdalena. La flecha tiene una forma suavemente aconchada hacia el norte y mide aproximadamente 5 km. La mitad oriental de la flecha se apoya en un sistema dunar vegetado y estable, mientras que la mitad occidental, la playa del Puntal, es una barra arenosa de aproximadamente 200 m en la sección más ancha y de 100 m en la más estrecha. Las características sedimentológicas de la playa del Puntal (*Fundación Leonardo Torres Quevedo*, 1990) se resumen en la tabla 6.1 y las posiciones de los muestreos en la figura 6.3.



Figura 6.2. Localización de la Bahía de Santander y la playa del Puntal. Tomada de Google Earth

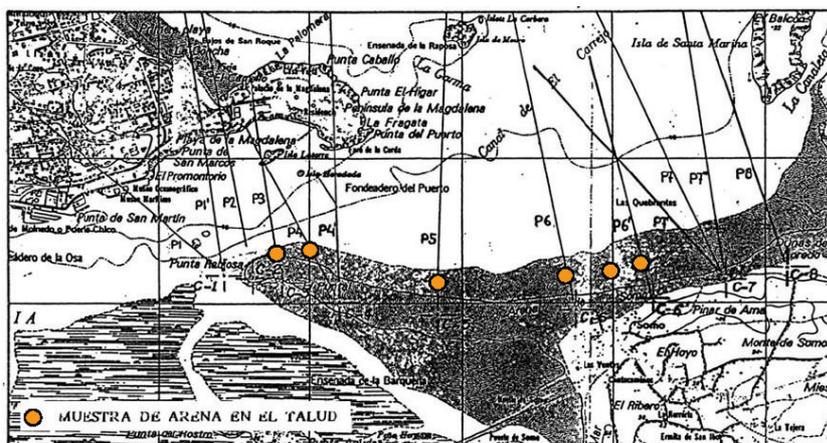


Figura 6.3. Localización de las estaciones de granulometría en la Playa del Puntal.

### 6.3 Metodología

---

Tabla 6.1. Datos granulométricos de la Playa del Puntal (fuente *Fundación Leonardo Torres Quevedo* (1990)).

Sección	nivel del mar	$D_{15}$	$D_{50}$	$D_{84}$	$D_{medio}$	Desviación
P3	Bajamar	0.48	0.25	0.19	0.27	0.28
P3	nivel medio	0.50	0.26	0.19	0.27	0.38
P3	Pleamar	0.53	0.27	0.20	0.30	0.31
P3P4	Bajamar	0.71	0.50	0.28	0.45	0.26
P3P4	Pleamar	0.57	0.29	0.21	0.33	0.23
P5	nivel medio	0.52	0.27	0.20	0.30	0.25
P6	Bajamar	0.57	0.27	0.20	0.32	0.25
P6	nivel medio	0.46	0.25	0.20	0.25	0.30
P6	Pleamar	0.48	0.26	0.20	0.28	0.26

#### 6.2.2. Colección de IMDP

La colección esta comprendida por IMDP obtenidas en el periodo entre noviembre 2002 y agosto 2006, consta aproximadamente de 45000 imágenes, de tipo *Snapshot*, *Timex* y *Variance*, obtenidas a intervalos de 30 minutos. En el apartado 2.2.1 se describen las características de las IMDP obtenidas de la estación, por tanto aquí solamente se recuerda que son las IMDP tipo *Timex* rectificadas las que se utilizan en el resto del capítulo.

### 6.3. Metodología

El objetivo de este capítulo consiste en analizar las características morfodinámicas de una sección de la playa del Puntal y obtener una serie de evolución a partir de la colección de IMDP. Primero se obtiene un mapa donde se encuentran organizadas las IMDP de Puntal y se analiza. Posteriormente se obtiene la serie de evolución usando la metodología explicada en la sección 5.3. También se obtiene por medio de clasificación visual de las IMDP otra serie de evolución que es comparada con la obtenida previamente. En ambos casos se utilizan el modelo de *Wright y Short* (1984) para asignar categorías a los prototipos. El modelo se describe a detalle en el anexo A, por lo que aquí en el figura 6.4 solamente se esquematizan los estados morfodinámicos.

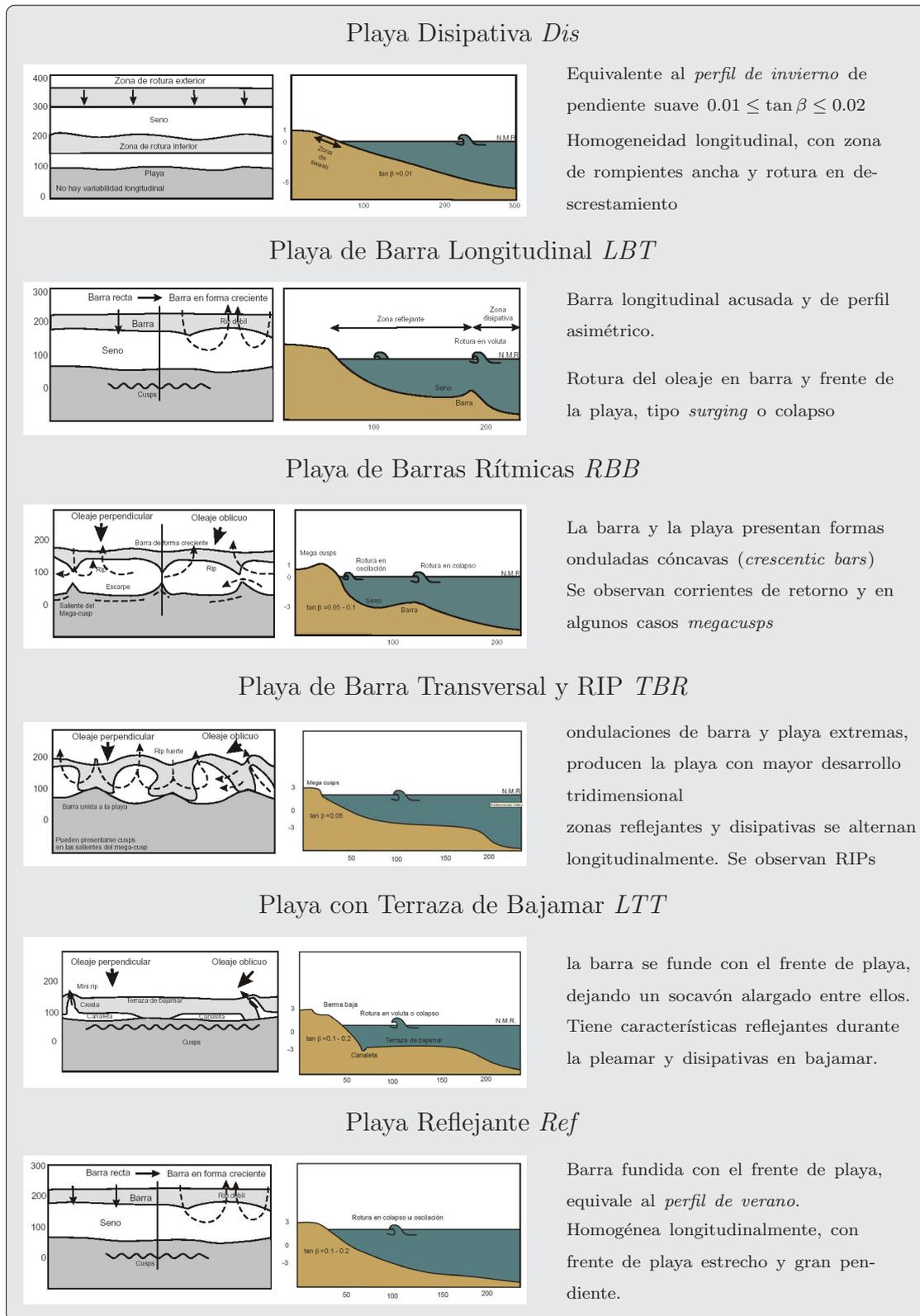


Figura 6.4. Modelo de *Wright y Short* (1984). Adaptado de *Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas de la Univesidad de Cantabria*.

### 6.4. Obtención del mapa

Con el propósito de obtener el mapa para analizar la morfodinámica de la playa y una serie de evolución se aplicó la metodología descrita en el apartado 5.3. Los pasos realizados se presentan resumidos en tres etapas: procesamiento de IMDP, entrenamiento del mapa y construcción de la serie temporal.

#### 1. Procesamiento de IMDP:

El procesamiento realizado a la colección de IMDP es el ya mencionado en apartados anteriores, por tanto aquí solo se resume y se indica, cuando es necesario, el apartado donde se pueden encontrar los detalles de los procedimientos. En primer lugar, en cada una de las IMDP se acoto el área de playa y se giraron  $18^\circ$  para obtener una línea de costa paralela al eje principal de las IMDP. La resolución obtenida es de  $110 \times 300$  píxeles, que equivalen aproximadamente a  $800 m$  de playa. La figura 4.21 muestra un ejemplo de una IMDP ya procesada. En seguida, se eliminó el efecto de la marea sobre las IMDP. La carrera de marea en la zona de la playa del Puntal es de  $4m$  (Figura 4.5), por tanto el efecto de esta sobre las IMDP debe ser eliminado. Esto se consigue considerando solamente una IMDP por día obtenidas a  $0.8 \pm 0.1m$  por debajo del nivel medio. De esta forma, la colección se reduce a 1400 IMDP. En la sección 4.2.2 se muestra como afecta el nivel de marea a las estructuras morfológicas a clasificar. posteriormente se eliminaron los efectos horarios y meteorológicos, transformando las IMDP de color a tonos de grises o valores de luminosidad (ecuación 4.1) y se ecualizaron. La figura 4.15 muestra un ejemplo de los cambios obtenidos en una IMDP afectada por la luz matinal y el resultado obtenido de ambas transformaciones. Del procesamiento anterior resultan dos categorías en la colección *i. e.*, en la primera la tierra es oscura y el agua clara, y en la segunda ocurre lo opuesto. La razón de estas categorías se explica en el apartado 4.4.1.2 y también se indica como descartar a una de ellas haciendo uso de los histogramas de densidad de píxeles representativos de

agua y tierra. La figura 4.19 muestra el histograma de los píxeles característicos y la intensidad de corte,  $I_c = 0.47$ , que separa los valores definidos de playa y agua. Todas las IMDP que no cumplen con los criterios  $I_{pa} \geq I_c$  o  $I_{pt} \leq I_c$  fueron separadas de la colección, por lo que finalmente se cuenta con 581 IMDP. De las IMDP ya preparadas se selecciono un área de entrenamiento de  $70 \times 80$  píxeles que representa una parte de la zona de playa en la que ocurren los cambios morfológicos que se desean clasificar. El recuadro sobre la IMDP en la figura 4.21 indica la zona elegida. Finalmente, se cuenta con una colección de 581 IMDP con un área de  $70 \times 80 = 5600$  píxeles. Cada píxel de las IMDP es utilizado como un parámetro a clasificar, sin embargo 5600 son demasiadas dimensiones, así que la resolución se redujo en un 10%. En la sección 4.5.1 se encontró que reducir la calidad de las IMDP en un 10% no afecta la calidad de la clasificación. De esta forma, después de reducir las IMDP, se obtienen  $63 \times 72 = 4536$  dimensiones. Una vez completada la preparación de la colección de IMDP, estas se escriben en un archivo de datos de entrada según el formato descrito en el anexo B, y utilizando las fechas como etiquetas.

## 2. Entrenamiento de SOM:

Antes de realizar los entrenamientos es necesario determinar los tamaños de mapa a utilizar, *i. e.*, el número de unidades  $K$ . El número máximo de unidades  $K_{max}$  esta dado por la ecuación 5.2 y considerando que la colección cuenta con  $n = 581$  IMDP y con  $r = 4536$  dimensiones y suponiendo una memoria máxima disponible  $Mem_{max} = 1GB$ , el numero máximo de unidades del mapa es  $K_{max} = 4780$  El hecho de que  $K_{max} \gg n$  implica que el tamaño del mapa esta limitado por el numero de IMDP y no por la capacidad del procesador. Siguiendo lo aconsejado en el apartado 5.2.2.1, un numero de unidades de mapa adecuado esta entre  $10\%n \leq K \leq 50\%n$  que corresponde a mapas entre 50 y 290 unidades. Por tanto, se establece un mapa inicial de  $7 \times 7$  unidades, equivalente al 10% de las IMDP, en el que se realiza el entrenamiento y al que se aplica el resto de la metodología. En caso de ser necesario se realizan entrenamientos sucesivos en

## 6.4 Obtención del mapa

mapas de mayores dimensiones hasta conseguir la clasificación más adecuada. Los posibles mapas a entrenar tienen dimensiones  $9 \times 9$ ,  $11 \times 11$ ,  $12 \times 12$ ,  $15 \times 15$  y  $17 \times 17$  unidades que equivalen al 15 %, 20 %, 25 %, 35 % y 50 %. La figura 6.5 muestra las escalas del problema y el intervalo de posibles mapas que cumplen con el criterio mencionado.

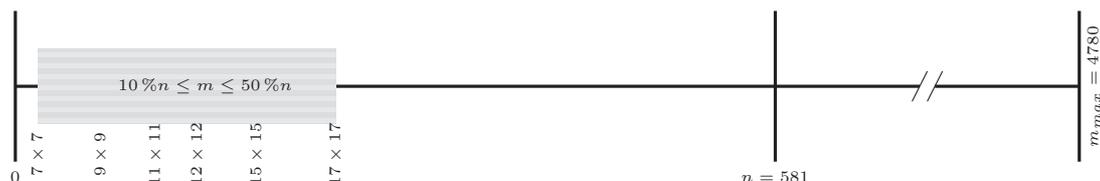


Figura 6.5. Escala de tamaños posibles de mapas para entrenar la colección de IMDP de la playa del Puntal.

El SOM se entrena usando la correlación como métrica y se determinan los prototipos que cumplen la condición 5.3. El mapa de prototipos obtenido se muestra en la figura 6.6. La posición de los prototipos en el mapa se encuentra indicada por números para las filas y letras para las columnas, de tal forma que los prototipos ubicados en la esquina inferior izquierda y superior derecha del mapa tienen coordenadas  $1A$  y  $7G$  respectivamente. Los prototipos encontrados presentan estructuras morfológicas variadas, por ejemplo barras anchas y expuestas *e.g.* unidades  $7G$ ,  $6G$  y  $5G$ , estrechas y continuas *e.g.*  $2C$ ,  $2D$ ,  $2E$ ,  $3C$ ,  $3D$  y  $3E$ , discontinuas *e.g.*  $5C$ ,  $6A$ ,  $6B$  y  $6C$ , y transversales *e.g.*  $2A$ ,  $3A$  y  $4A$ . Sin embargo, a simple vista existen prototipos que no son fáciles de agrupar *e.g.*  $5A$  o que por su situación en el mapa y los prototipos vecinos se esperaría encontrarla en otra posición *e.g.*  $4G$ .

Como se explica en el apartado 5.2.2.3, no es práctico analizar el mapa revisando el contenido de las unidades, por el contrario se debe de hacer énfasis en los criterios de heterogeneidad y organización de los prototipos, así como de la distribución de IMDP en las unidades del mapa. En el mapa de  $7 \times 7$  los prototipos son heterogéneos y existe organización, aunque no total. Sin embargo el número de IMDP por unidad es muy variado, 31 unidades tienen entre 5 y 15 IMDP, es

decir el 45 % de la colección, mientras que 13 unidades tienen mas de 15 IMDP, lo que representa el 51 % (ver figura 6.7). El resultado ideal implica tener el mayor numero de unidades con un numero bajo de IMDP, por tanto es posible que en este mapa, en alguna de las unidades que cuentan con más IMDP se encuentren agrupadas aquellas que no se ajustaron a ningún otro prototipo. Por tanto este mapa es mejorable.

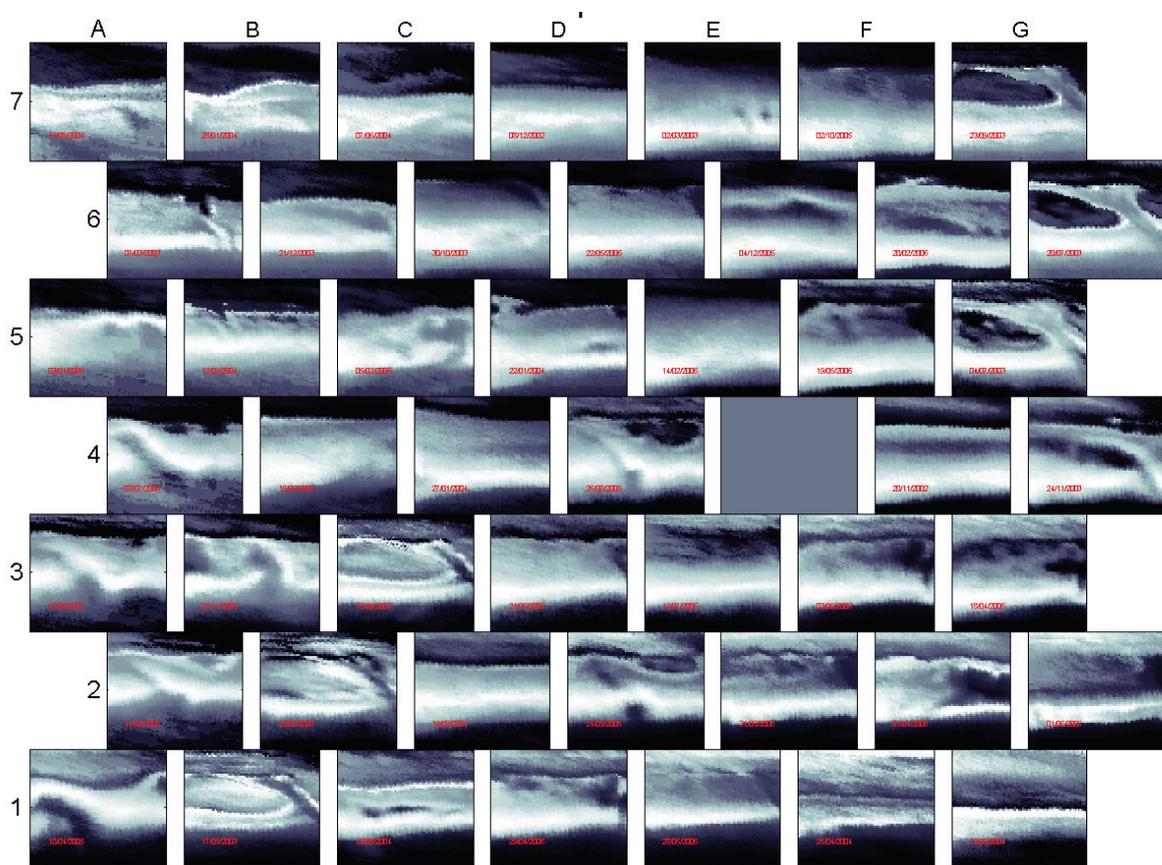


Figura 6.6. Mapa entrenado de 7 x 7 unidades. Para cada unidad se muestra la IMDP prototipo.

## 6.4 Obtención del mapa

---

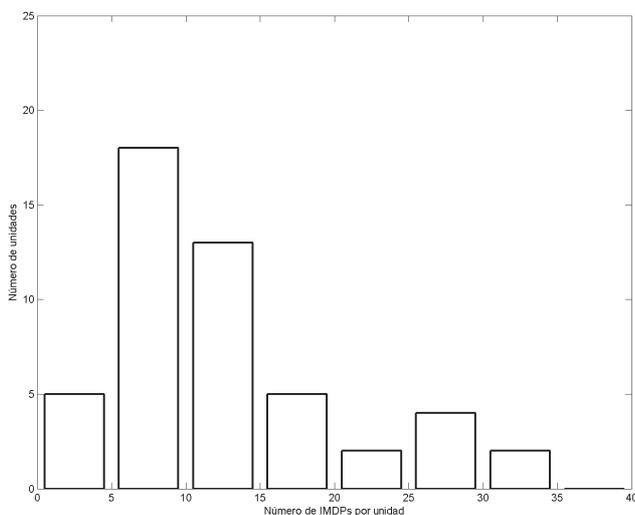


Figura 6.7. Distribución de unidades del SOM de  $7 \times 7$  unidades según el número de IMDP agrupadas por unidad.

Se realizaron nuevos entrenamientos en los mapas de  $9 \times 9$  y  $11 \times 11$  unidades y se determinaron los prototipos. En el mapa de  $9 \times 9$  (Figura 6.8) se encontró que los prototipos son más diversos y al mismo tiempo los prototipos vecinos forman grupos mayores con características similares, por ejemplo, las unidades *H9*, *H8*, *I9*, *I8*, *I7* y *I6* presentan una barra ancha y expuesta con forma de diamante; mientras que en el otro extremo del mapa, en las unidades *A1*, *A2*, *A3*, *A4*, *A5*, *B3*, *B4* y *B5*, se encuentran IMDP con una barra oblicua y parcialmente emergida.

La distribución de IMDP por unidad se muestra en la figura 6.9. Del histograma se deduce que el 83 % de las IMDP se encuentra agrupada en unidades con menos de 10 IMDP y solo un 4 % en unidades con más de 15 IMDP. Así que se puede confirmar que los prototipos del SOM de  $9 \times 9$  describen adecuadamente las formas presentes en la sección observada de la Playa del Puntal. Una descripción más detallada de este mapa se presenta más adelante.

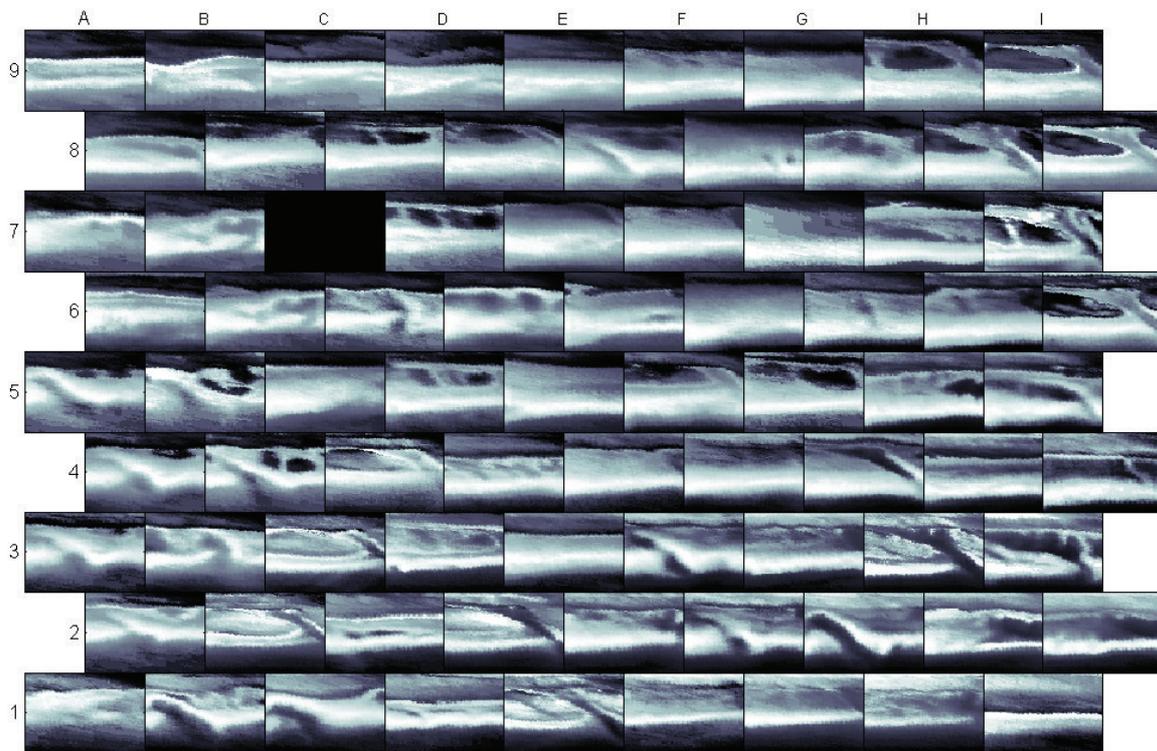


Figura 6.8. Mapa entrenado de  $9 \times 9$  unidades. Para cada unidad se muestra la IMDP prototipo.

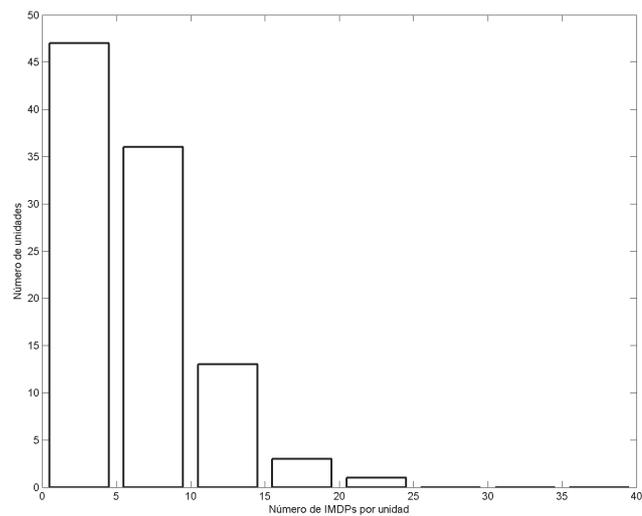


Figura 6.9. Distribución de unidades del SOM de  $9 \times 9$  según el número de IMDP agrupadas por unidad.

3. Construcción de la serie temporal

Para obtener una serie temporal de la evolución morfodinámica de la Playa del Puntal es necesario utilizar algún parámetro representativo de la misma. En este caso se eligió utilizar los estados morfodinámicos del modelo de *Wright y Short (1984)* para clasificar los prototipos. Los criterios de la clasificación de prototipos están basados en la forma de la barra principalmente *i. e.* ancho, largo y en la posición de la línea de costa. La figura 6.10 muestra las principales características morfológicas observadas en los prototipos, en las que esta basada la asignación de estados morfodinámicos a cada unidad del mapa.

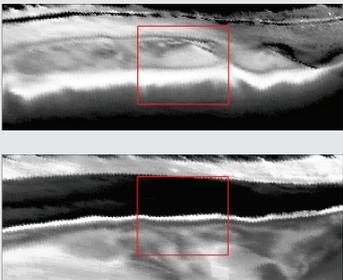
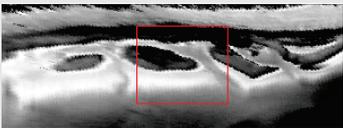
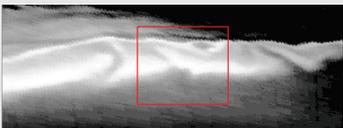
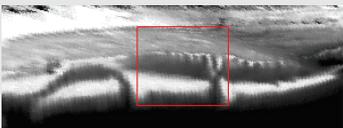
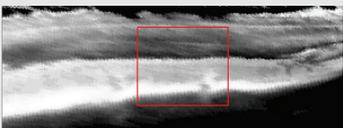
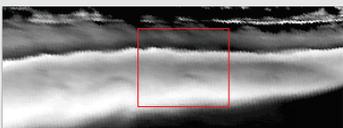
Reflejante (Ref)	<p>Línea de costa adelantada</p> <p>Rastros de terrazas unidas a la playa</p> <p>No hay barras o terrazas presentes</p>	
Terrazas de Baja-mar (LTT)	<p>Terraza ancha y expuesta</p> <p>Rotura del oleaje antes de terraza</p>	
Barra transversal y RIP (TBR)	<p>Barras anchas en general sumergidas</p> <p>Barras oblicuas o perpendiculares a la costa</p> <p>Rotura del oleaje sobre la barra</p>	
Barra rítmica (RBB)	<p>Barras estrechas, discontinuas</p> <p>Barras sumergidas paralelas a la costa</p> <p>Rotura del oleaje sobre la barra</p>	
Barra longitudinal (LBT)	<p>Barra estrecha y continua</p> <p>Barra sumergida paralela a la costa</p> <p>Rotura del oleaje sobre la barra</p>	
Disipativa (Dis)	<p>Línea de costa atrasada</p> <p>Zona de rotura ancha</p>	

Figura 6.10. Características morfológicas observadas en los prototipos utilizadas para definir los estados morfodinámicos.

Una vez asignada un estado morfodinámico a cada unidad del mapa, se formaron supergrupos. En general, se encontraron dos supergrupos por categoría, a excepción del estado *Reflejante* localizado en la esquina superior izquierda del mapa. El resto de supergrupos están distribuidos en el mapa según se refleja en la figura 6.11. El único estado morfodinámico no encontrado en el mapa es el *Disipativo*, probablemente debido a que el número de IMDP con características disipativas es muy bajo como para separarlo de las *Reflejantes*.

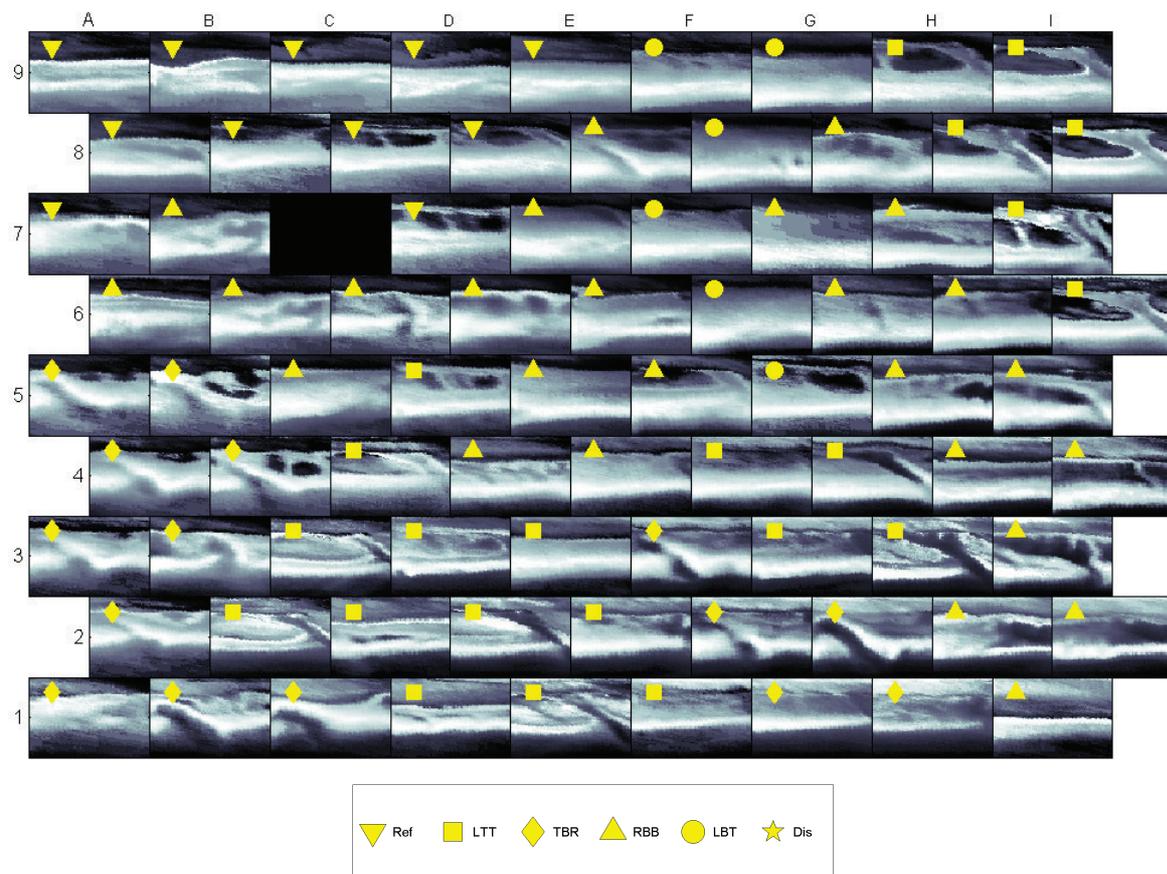


Figura 6.11. Supergrupos formados en el mapa  $9 \times 9$  de SOM entrenado. El estado asignado a cada unidad del mapa se indica por el símbolo localizado en la esquina superior izquierda de cada unidad.

Las categorías mostradas en el mapa se asignan a cada una de las IMDP contenidas en los supergrupos y utilizando las fechas, almacenadas como etiquetas, se reconstruye la serie temporal (Figura 6.12). Lo primero que se observa en la serie son segmentos largos sin variaciones, subrayados en rojo. Además se obser-

## 6.4 Obtención del mapa

van otros segmentos cortos (subrayados en amarillo) que coinciden con alguno de los segmentos anteriores o no tienen suficientes IMDP. La presencia de estos segmentos esta en función del tamaño del mapa.

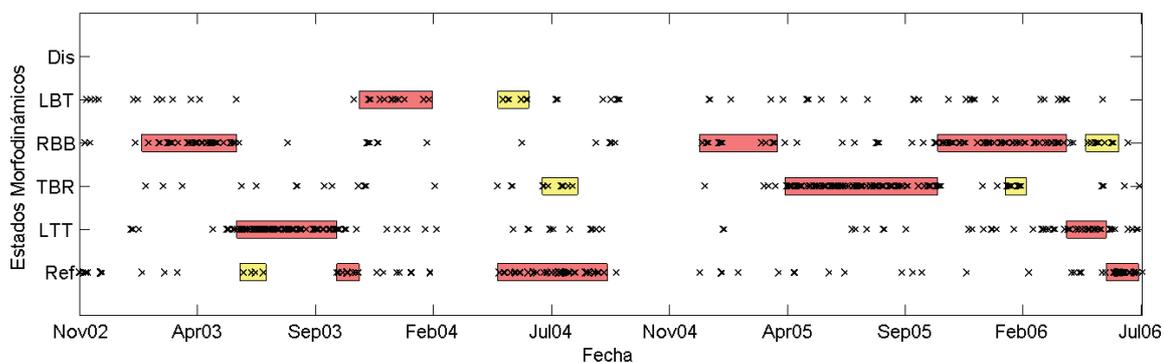


Figura 6.12. Serie de evolución morfodinámica obtenida directamente a partir del mapa de  $9 \times 9$ .

El resto de puntos dispersos son errores sistemáticos de la técnica que se descartan aplicando un filtro de moda móvil de longitud 10 días. La serie resultado de la aplicación del filtro sigue los segmentos rojos de la serie original (ver figura 6.13), y también en alguna ocasión los segmentos amarillos. El error o diferencia entre ambas series (determinado según la ecuación 5.5) es proporcional al 40 % que es muy elevado comparado con el 5 % de error sistemático de la técnica usando las IMDP al 90 % de resolución (ver tabla 4.3).

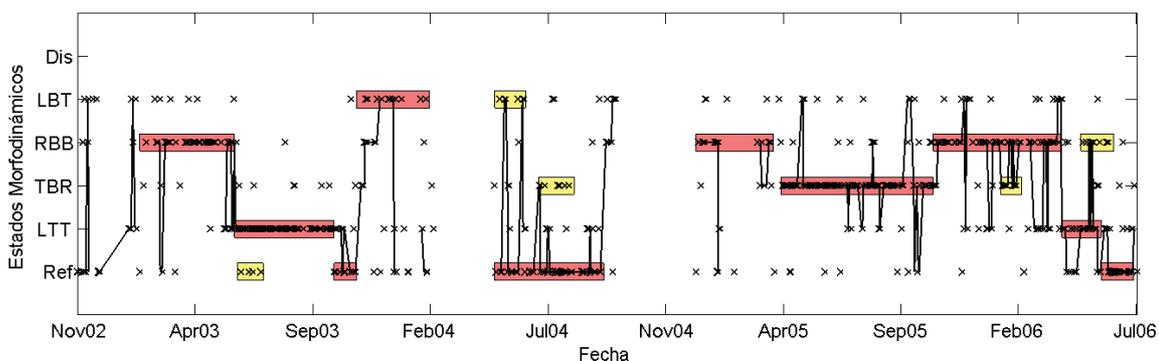


Figura 6.13. Serie de evolución morfodinámica resultado de la aplicación de un filtro modal de longitud de 10 días.

Aunque se observan segmentos claros en la evolución, hay otros en los que no (subrayados con amarillo en la figura 6.13), como se mencionó antes, un mapa de mayores dimensiones producirá una serie más evidente, ya que aumenta el número de prototipos y disminuye la variabilidad en cada unidad del mapa. La figura 6.14 muestra el mapa de prototipos obtenidos de entrenar un mapa de  $11 \times 11$  unidades, también se indican las categorías asignadas a cada unidad y los supergrupos formados. La configuración de los supergrupos es muy similar a la encontrada en el mapa  $9 \times 9$ ; la diferencia principal entre ambos mapas radica en que debido al aumento de prototipos, se encuentran unidades de la categoría *dissipativa* y es posible definir con mayor detalle los supergrupos.

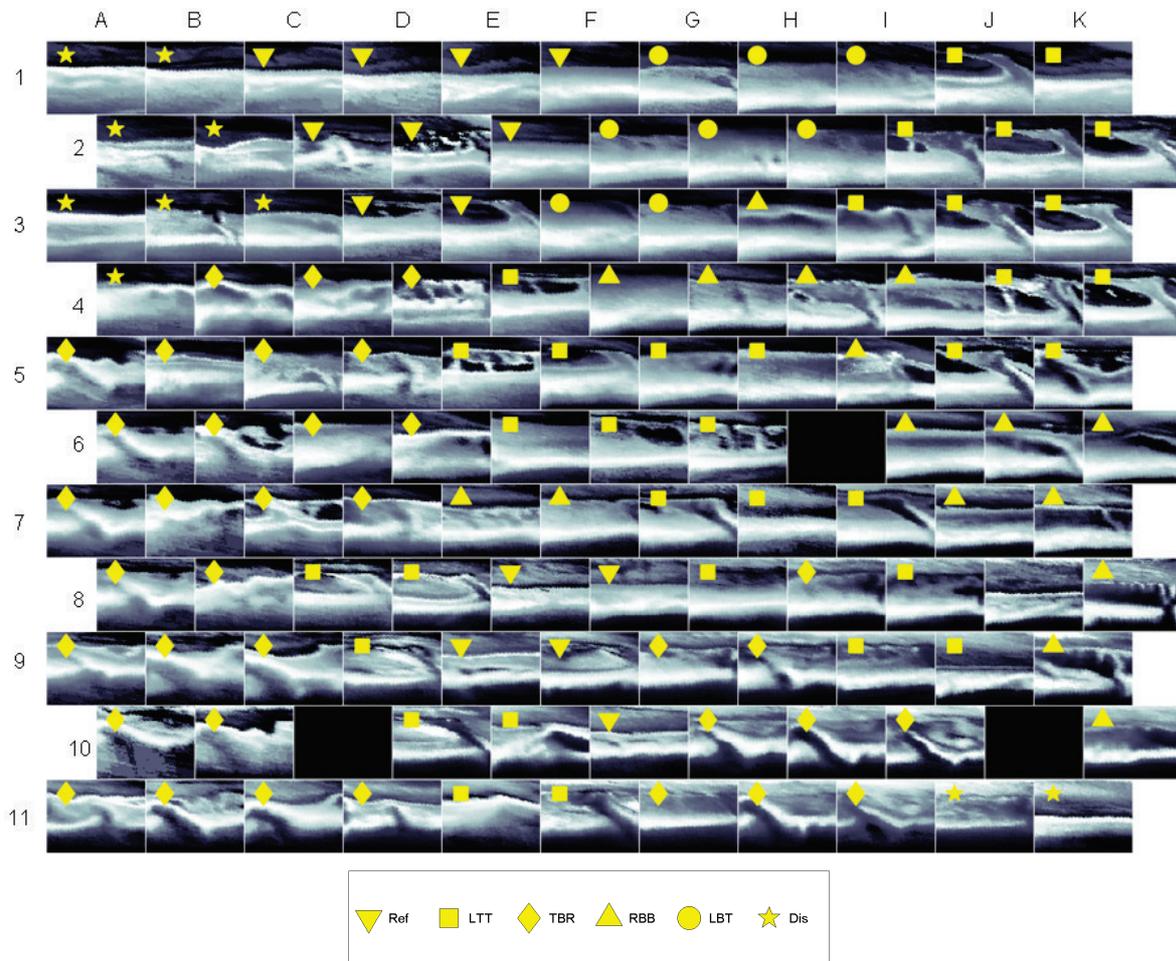


Figura 6.14. Mapa de  $11 \times 11$  entrenado. Se indican los supergrupos formados.

## 6.4 Obtención del mapa

La serie obtenida a partir de este mapa y filtrada (Figura 6.15) es muy similar a la obtenida previamente pero con un mucho menos ruido. Esto produce que los segmentos de la serie sean más claros y que el error  $E_m \sim 22\%$ . Por otro lado, la secuencia en la serie presenta algunos cambios, principalmente en el invierno del 2006, donde en la serie del mapa  $9 \times 9$  se indicaba un único periodo de estado *RBB* aunque se inferían variaciones. En el mapa de  $11 \times 11$  se encuentra que este mismo segmento está repartido entre el estado *RBB* y *disipativo*, aunque persisten una zona indefinida, entre *LTT* y *RBB*, en marzo del 2006.

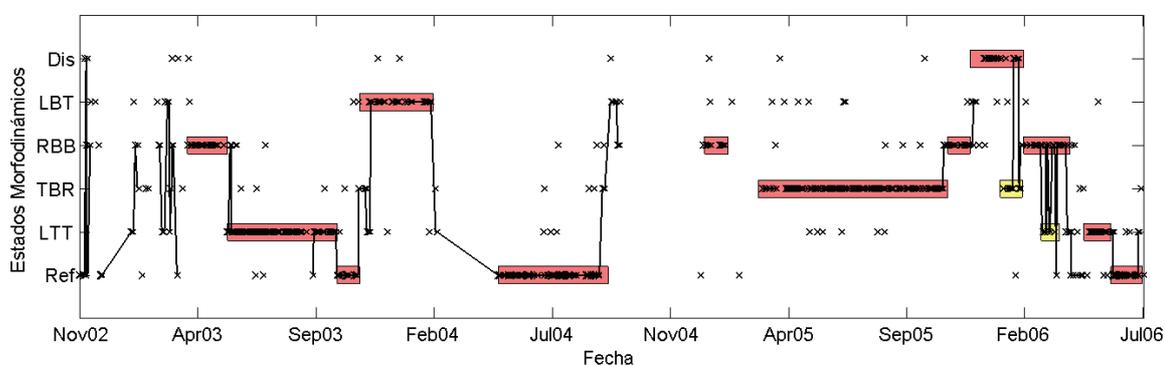


Figura 6.15. Serie de evolución morfodinámica obtenida a partir del mapa entrenado de  $11 \times 11$ .

Al comparar ambas series obtenidas, no hay grandes cambios en la forma de la serie, por tanto, si un mapa de más prototipos es entrenado, se incrementará el trabajo de asignación de categorías a los prototipos, el error sistemático no se reducirá significativamente y la serie final obtenida será muy similar a la obtenida con el mapa actual. Por tanto, se puede considerar que el mapa de  $11 \times 11$  (Figura 6.14) es adecuado para clasificar la colección de IMDP de la playa del Puntal y que la serie (Figura 6.15) obtenida a partir de este mapa describe adecuadamente la evolución morfodinámica de la misma.

Finalmente se tiene una serie de evolución adecuada, salvo por los segmentos de los primeros meses del 2003 y el invierno del 2006. Como se mencionó previamente, si se amplía el mapa lo suficiente, estos segmentos se definirían mucho mejor, igual que

en los casos de las series de los mapas de  $9 \times 9$  y  $11 \times 11$ , sin embargo, realizar un nuevo entrenamiento, implica asignar nuevamente categorías a cada prototipo en un mapa con más prototipos que los anteriores. Este es un trabajo excesivo cuando sabemos que solo hay un par de secciones específicas donde la técnica no ha sido capaz de definir claramente el estado morfodinámico. Antes de realizar un nuevo entrenamiento, es preferible revisar manualmente estas secciones y verificar el resultado.

La figura 6.16 muestra una serie de 11 IMDP aproximadamente cada 15 días desde el inicio de la serie el 10 de noviembre del 2002, hasta el 8 de abril del 2003. A partir de esta fecha, la serie obtenida previamente indicaba un periodo de estado *RBB*. La serie de IMDP muestra que el primer mes la playa mantuvo condiciones del estado *disipativo*, a partir de mediados de diciembre y hasta finales de enero de *LBT* y finalmente desde febrero hasta que este segmento se une con la serie antes determinada, de *RBB*.

Las figuras 6.17 y 6.18 también muestran series de IMDP, para los periodos del 12 de enero al 5 de febrero del 2006 y del 25 de febrero al 8 de mayo del 2006. En el primer caso, en la serie se observan variaciones rápidas entre estados *Disipativos* y *LTT*, sin embargo al observar las IMDP del segmento, se encuentra un primer periodo *Disipativo* hasta el 20 de enero aproximadamente, y posteriormente *RBB*. En el segundo caso, de mayor duración, la serie presenta segmentos intercalados de *RBB*, *LTT* y *Reflejantes*. Este segmento de la serie es probablemente el que mayor incertidumbre presenta, al analizar las IMDP queda claro porque la técnica no fue capaz de clasificarlas totalmente, puesto que la estructura morfológica observada es poco clara aun a simple vista. Al inicio del segmento se observan el oleaje rompiendo sobre la playa de forma asimétrica y se infieren aunque de no de formas regulares barras rítmicas. Hacia el final del periodo se observan mas claramente las mismas, aunque en una posición retrasada en comparación con otras IMDP *RBB* observadas en otros segmentos (ver figura 6.16) por lo que en el mapa algunas de estas imágenes fueron colocadas entre las *reflejantes*.

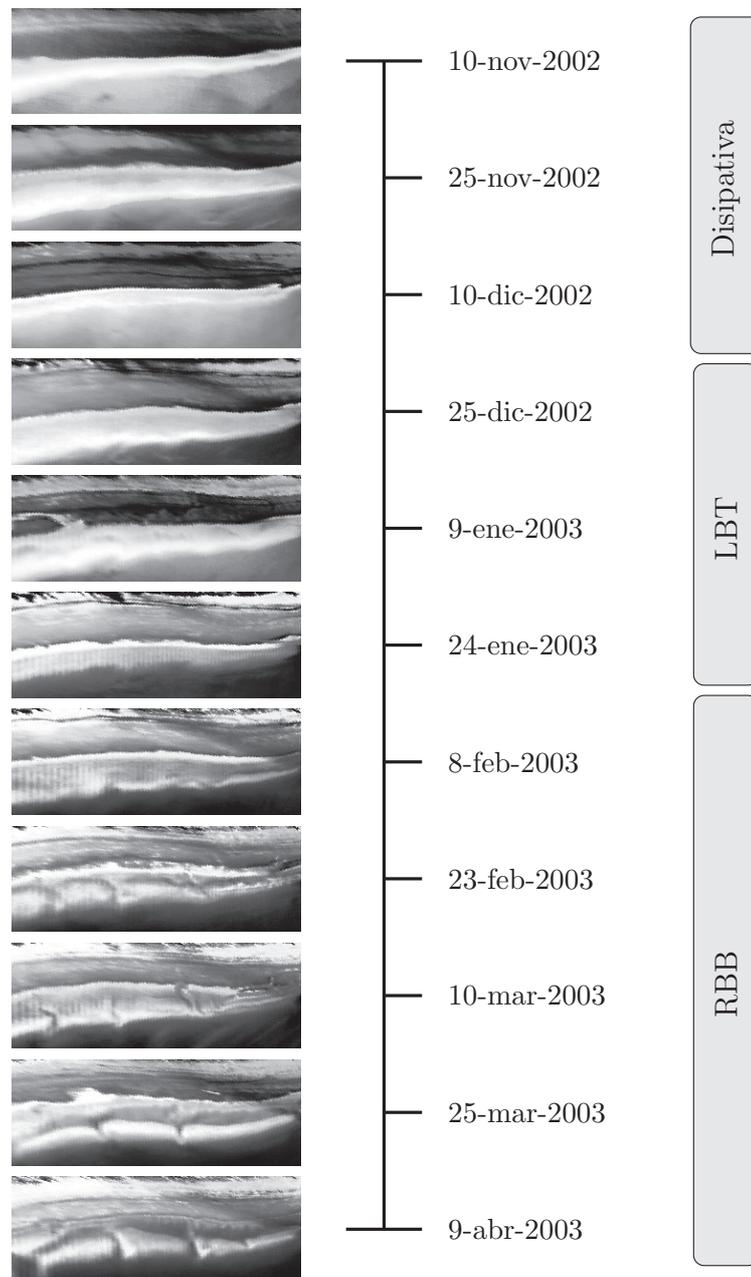


Figura 6.16. Selección de IMDP del invierno 2002-2003 que describen los cambios morfológicos de la playa durante este periodo.

## 6.5. Análisis de la serie de evolución morfodinámica

Finalmente, la serie de evolución obtenida (Figura 6.19) presenta tres ciclos anuales. La secuencia de estados intercala estados reflejantes en verano y disipativos en

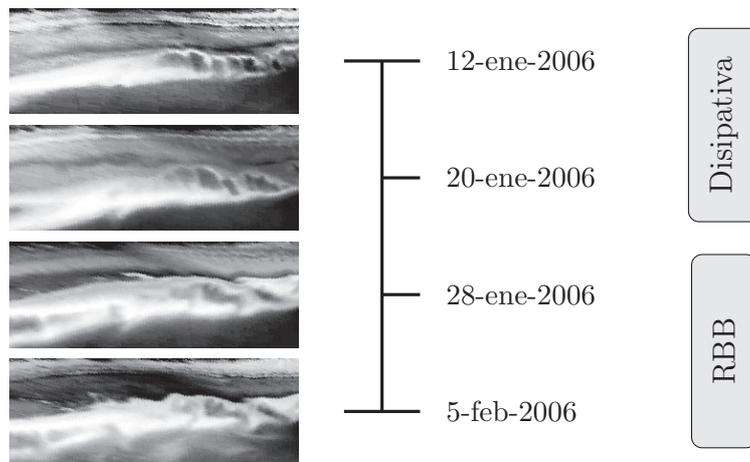


Figura 6.17. Selección de IMDP de enero del 2006 que describen los cambios morfológicos de la playa durante este periodo.

invierno. Durante las etapas reflejantes no suele haber cambios de estado, por lo que encontramos periodos de aproximadamente 3 meses, mientras que en las disipativas, los estados varían con periodicidad aproximada de un mes.

la distribución de estados a lo largo del año indica que los estados mas frecuentes son los intermedios de baja energía, desde el *RBB* (23%), *TBR* (25%) y *LTT* (21%); Los estados de mayor energía *LBT* y *Disipativo* solo son encontrados el 8% del tiempo y el estado reflejante el 15%. En la figura 6.20 se muestra la distribución de estados encontrada.

## 6.5 Análisis de la serie de evolución morfodinámica

---

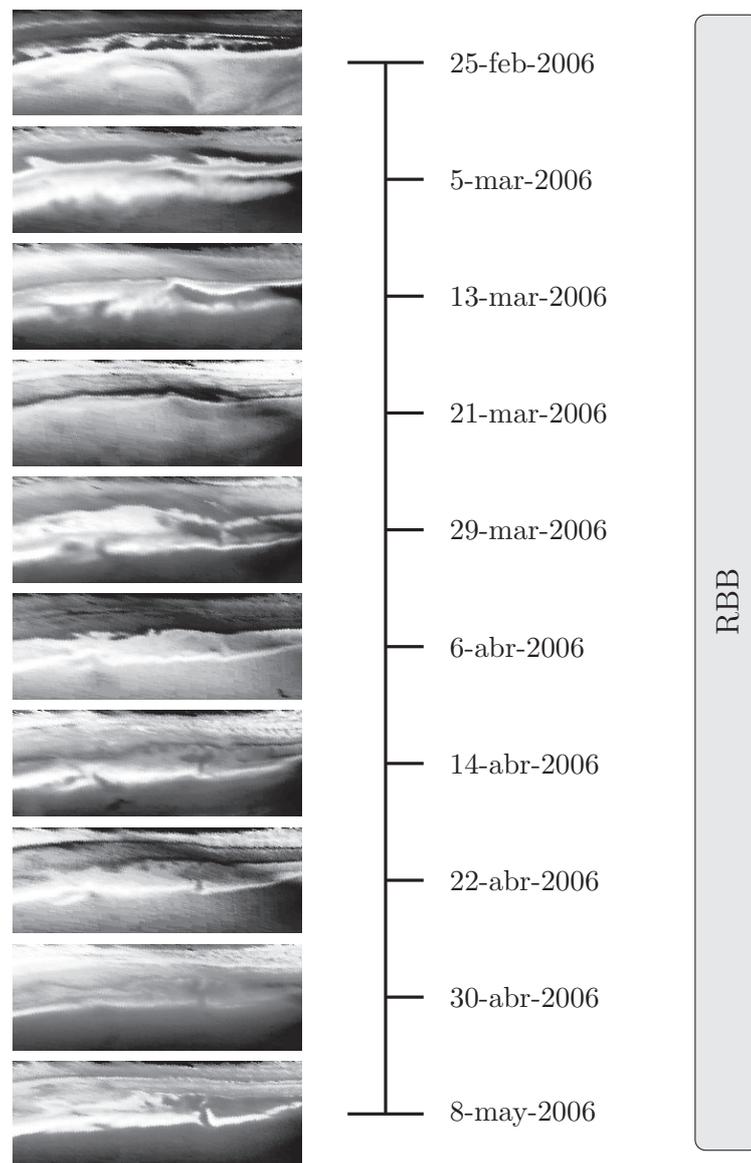


Figura 6.18. Selección de IMDP de la primavera 2006 que describen los cambios morfológicos de la playa durante este periodo.



## 6.6. Determinación de la evolución morfodinámica de la playa de la forma tradicional a partir de las IMDP

El propósito de clasificar las IMDP de forma manual y comparar con lo obtenido por medio de la metodología anterior no es validar el resultado, puesto que la serie visual no se puede considerar como real, sin embargo, es interesante obtener un resultado de esta manera y comparar los beneficios de la técnica propuesta. Tradicionalmente, los estudios de morfodinámica se han basado en observaciones directas (*Short, 1979; Wright et al., 1979; Wright y Short, 1984; Wright et al., 1985; Masselink y Short, 1993*), en este caso las observaciones se realizan sobre las IMDP, las mismas que fueron utilizadas previamente en la clasificación automática.

La determinación visual de los estados morfodinámicos de las imágenes de la playa del Puntal se realizó por medio de una interfaz gráfica. La interfaz consta de cuatro módulos:

1. IMDP: En este modulo se selecciona una fecha diaria y se muestran las IMDP correspondientes. El modulo esta acondicionado para avanzar o retroceder en la colección y revisar o rectificar las IMDP. En este modulo las IMDP también pueden ser transformadas a tonos de grises y ecualizadas para mostrar más claramente las estructuras morfológicas.
2. Condiciones dinámicas: En este modulo se muestran las condiciones dinámicas previas e instantáneas de oleaje (alturas y dirección) y de nivel de marea en la playa del Puntal.
3. Modelo (WS84): Este modulo esta preparado para asignar un estado morfodinámico del modelo WS84 a cada imagen mostrada en el modulo 1. Para facilitar la asignación del estado, se muestra un esquema típico del estado mor-

fodinámico seleccionado.

4. Evolución morfodinámica: En este modulo se observa de forma interactiva la serie obtenida al clasificar las IMDP.

El uso de esta interfaz gráfica facilita la clasificación visual de las IMDP en comparación con una determinación clásica *in situ*, puesto que permite observar la IMDP en una perspectiva adecuada y manipularla para obtener una mejor vista de la misma, además que permite considerar las condiciones dinámicas. Sin embargo, no es posible comparar la IMDP actual con el resto.

La figura 6.21 muestra un *screenshot* de la interfaz con la IMDP obtenida el 13 de marzo del 2006. En este día el oleaje en la playa del Puntal se propagaba hacia el SSW con alturas entre 1 y 2 m. La marea se encontraba en la parte *viva* del ciclo y al momento de obtener la IMDP mostrada se encontraba a  $-1$  m por debajo del nivel medio (al igual que el resto de las IMDP usadas en la clasificación visual). La IMDP mostrada, presenta algunas barras y canales, sin embargo el oleaje rompe de forma irregular ya que no hay una estructura de barras clara. Esto es probablemente producto de la incidencia de oleaje de alturas de 4 m en los días previos. A esta IMDP se le asigno el estado morfodinámico de *RBB*.

la serie obtenida por este medio, mostrada en la figura 6.22, presenta una variación similar a la encontrada usando los SOMs. En general se encuentran segmentos más cortos y mayor incertidumbre en segmentos cortos.

La distribución de estados obtenidas por este medio difiere de la obtenida con el uso de SOMs. En este caso se encontró como estado modal el *LTT* con cerca de un 36% del tiempo, seguido del *RBB* y *Reflejante* con 20% y 17% respectivamente. El resto son *LBT* 14%, *TBR* 10% y *Disipativa* con el 3% (ver figura 6.23).

## 6.7 Análisis de las series obtenidas

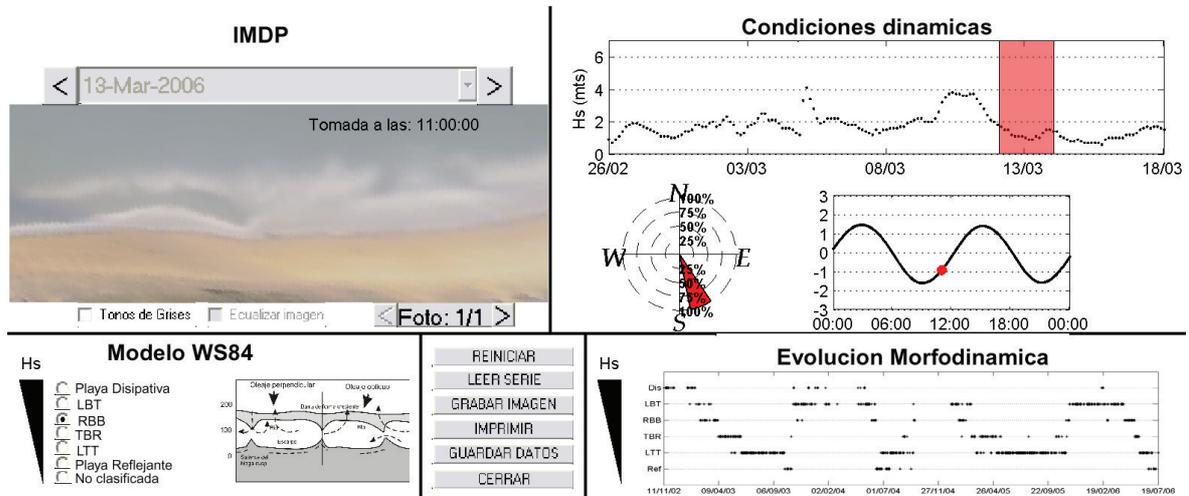


Figura 6.21. Interfaz gráfica utilizada en la determinación visual del estado morfodinámico de la playa del Puntal.

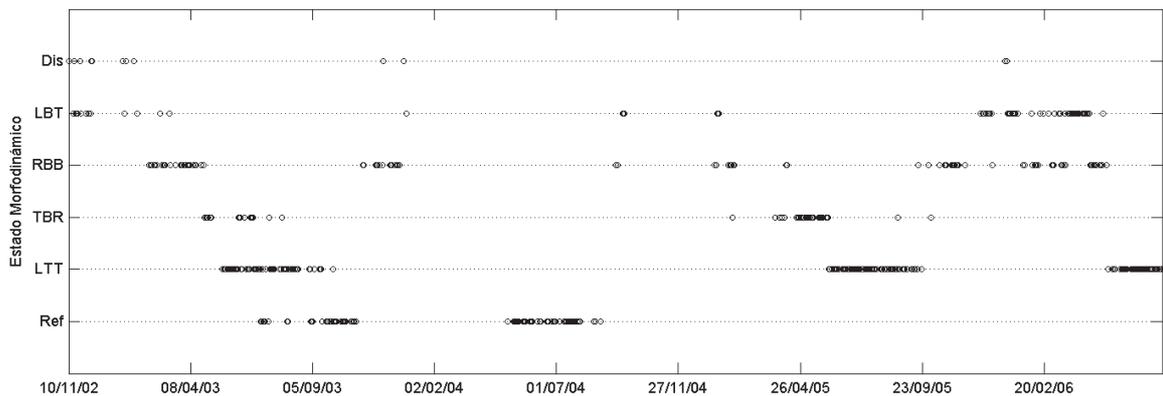


Figura 6.22. Serie de evolución morfodinámica obtenida por medio de la interfaz gráfica.

## 6.7. Análisis de las series obtenidas

El objetivo de obtener una serie por el método tradicional y comparar con la obtenida por medio de los SOMs no es realizar una validación, puesto que la obtenida visualmente tiene mayor variabilidad que la obtenida a través de SOMs y por tanto mayor error. Por el contrario, se pretende remarcar las ventajas de usar los SOMs en la clasificación.

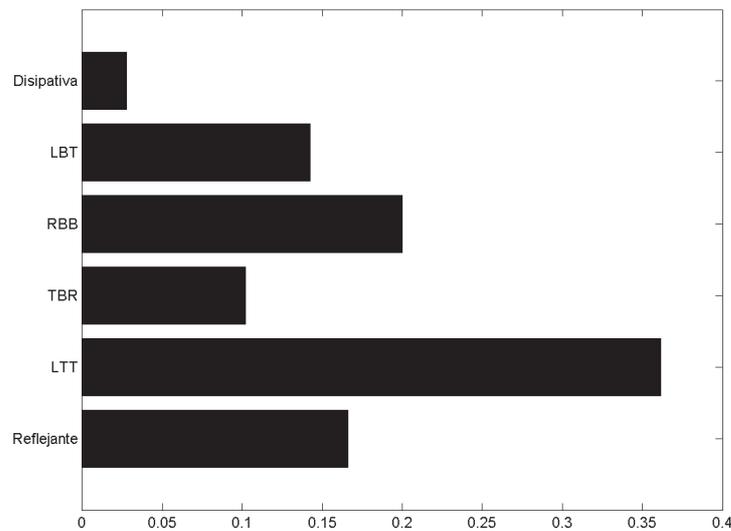


Figura 6.23. Histograma de distribución de los estados morfodinámicos según la clasificación visual.

La figura 6.24 muestra que las dos series obtenidas presentan el mismo comportamiento a lo largo del tiempo: tres ciclos anuales con etapas disipativas en invierno y reflejantes en verano. Sin embargo existen ciertas diferencias: la serie visual presenta mayor variabilidad que en la serie obtenida del mapa no es observada; en el verano 2005 mientras en la serie obtenida del SOM se asignó *TBR* visualmente se detectó *LTT* y en el invierno visualmente se detecta *LBT* mientras que en el mapa se clasifica *RBB* y *Disipativa*.

En la figura 6.25 se muestra la dispersión encontrada en la clasificación visual de acuerdo a lo detectado en el SOM. La correlación entre ambas series es del 88 %, aunque se observan segmentos en los que ambas series no coinciden *e.g.* Las IMDP del verano del 2005 que en el SOM son clasificadas como *TBR*, visualmente fueron distribuidas entre *LTT*, *TBR* y *RBB*

A continuación se realiza una comparación de algunas IMDP seleccionadas en los segmentos de las series donde se encuentran discrepancias para evaluar las clasificaciones. En el primer caso (Figura 6.26) se muestran 4 IMDP de estados *RBB*, *TBR* y *LTT* en las que las técnicas discrepan y se indican los segmentos de la serie a

## 6.7 Análisis de las series obtenidas

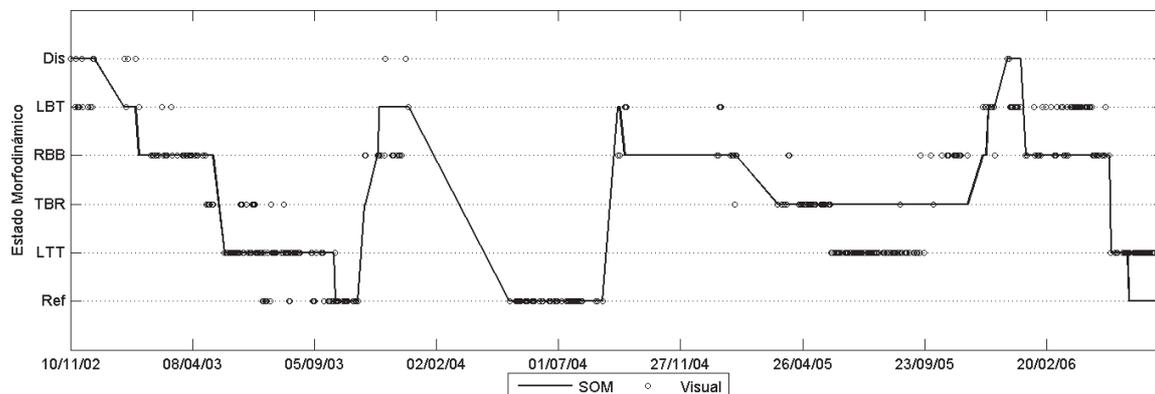


Figura 6.24. Comparación entre las series de evolución morfológica detectada por medio de SOMs y visualmente.

que pertenecen. En los casos *b*) y *c*) ambas técnicas coinciden, y las IMDP presentan configuraciones típicas de *LTT* y *TBR* respectivamente. Por tanto, son consideradas modelos para comparar las IMDP de *a*) y *d*). En la IMDP *a*) visualmente se determinó *TBR*, sin embargo al comparar con la IMDP *c*), es claro que la estructura observada corresponde al estado *RBB*. La IMDP *d*) fue clasificada visualmente como *LTT*, sin embargo, la estructura presenta mayores similitudes con *c* que con *b*, por lo tanto, se clasifica como *TBR*. En ambos casos (*a*) y *d*)) tal como sugiere la clasificación obtenida a partir del SOM.

Un segundo caso (Figura 6.27) muestra IMDP que fueron clasificadas como *RBB*, *LBT* o *Disipativas* y en los que nuevamente las técnicas no coinciden. Estas IMDP tienen la particularidad que presentan estructuras irregulares debidas a la alta energía del oleaje en estos periodos, esto dificulta la clasificación. En la IMDP *a*), se observa una zona de rotura ancha y continua pero bien delimitada, así como algunas estructuras, posibles remanentes, de terrazas o barras de situaciones previas. Por estas razones se considera que esta es representativa del estado *LBT*. En las IMDP *b* y *d*) se nota la presencia de barras discontinuas, por tanto el estado es *RBB*. Finalmente la IMDP *c*) también presenta una zona de rotura ancha y continua, pero sin límites definidos, esto nos indica un estado *Disipativo*. En los cuatro casos, tal y como fue determinado por

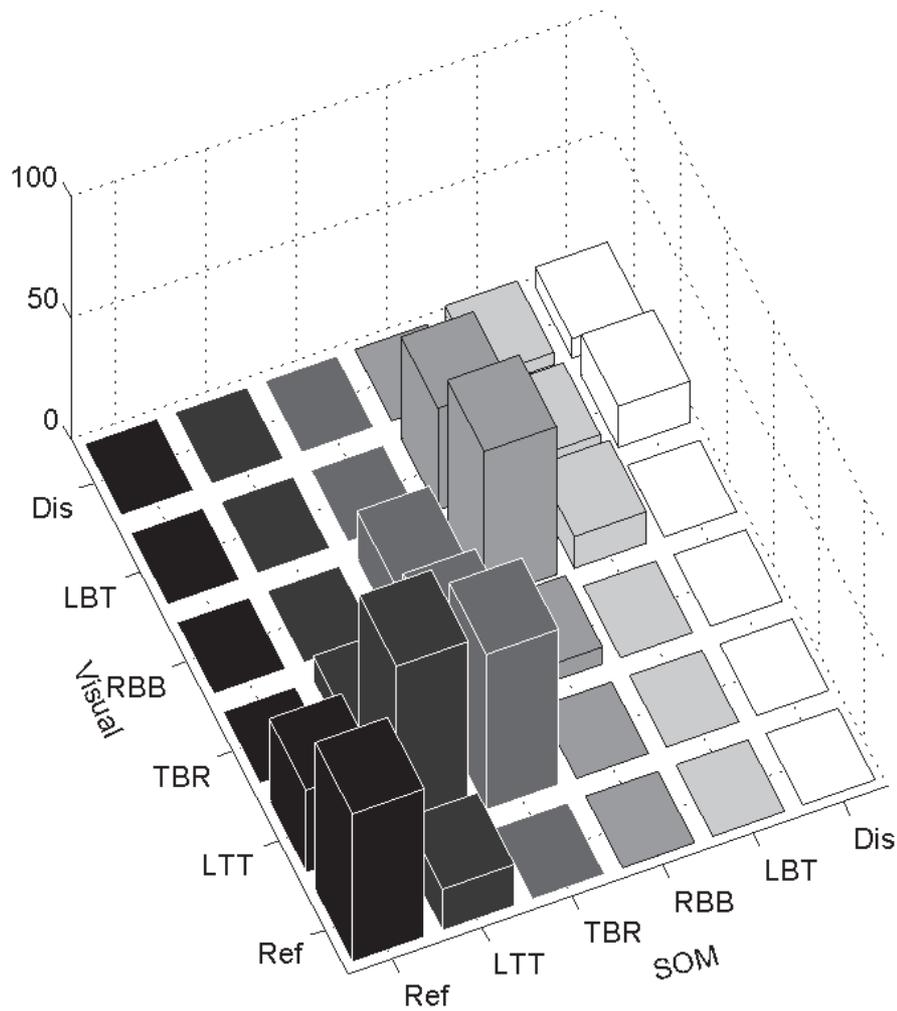


Figura 6.25. Correlación entre SOM y visual.

medio del SOM. Estas diferencias son debidas a que los cambios morfológicos ocurren lentamente y a que durante una clasificación visual se requiere de recordar los detalles de las IMDP observadas previamente para mantener una consistencia en la clasificación.

## 6.7 Análisis de las series obtenidas

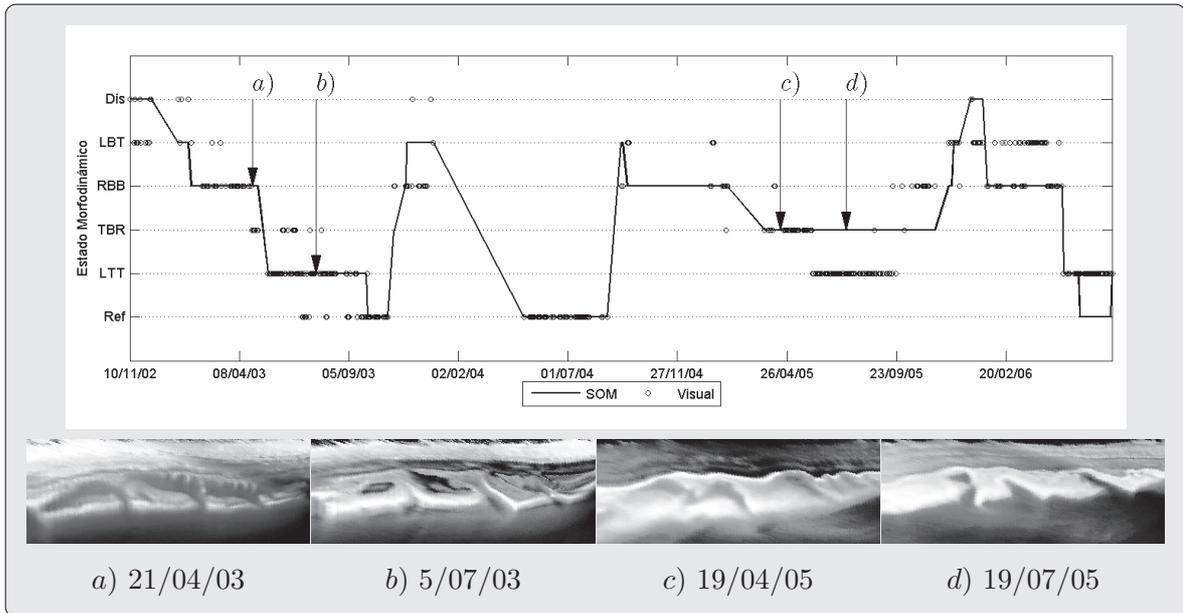


Figura 6.26. Comparación entre la clasificación obtenida del mapa y visualmente para los estados *RBB*, *TBR* y *LTT*. En la serie se indican cuatro puntos de la serie en los que existe discrepancia entre ambas clasificaciones. Abajo se muestran IMDP de los puntos señalados.

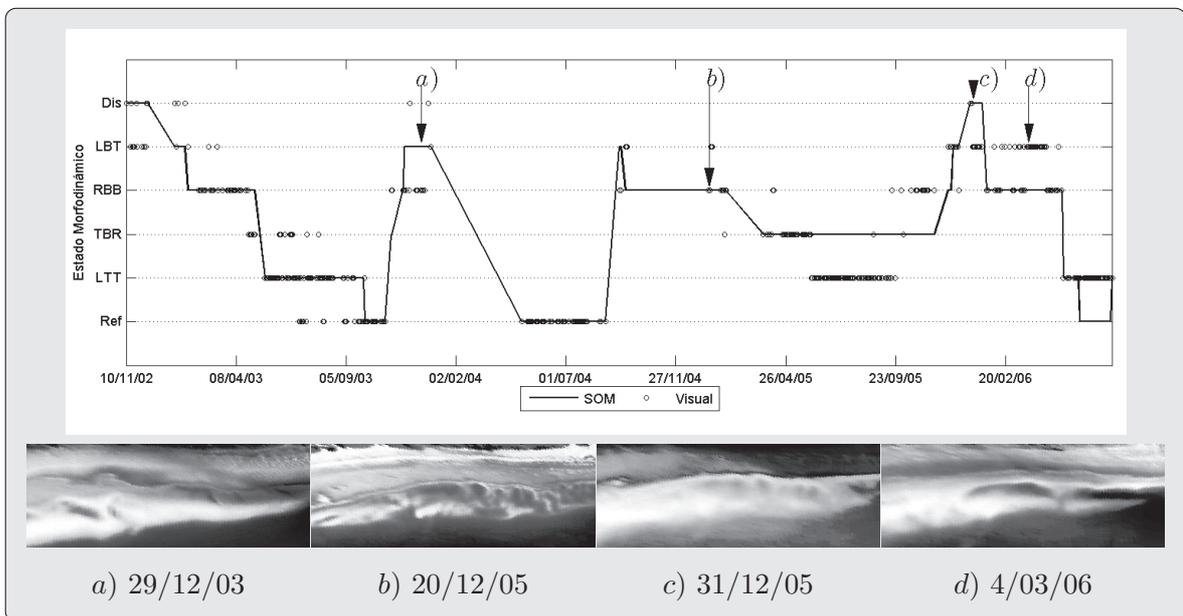


Figura 6.27. Comparación entre la clasificación obtenida del mapa y visualmente para los estados *RBB*, *LBT* y *Disipativo*. En la serie se indican cuatro puntos de la serie en los que existe discrepancia entre ambas clasificaciones. Abajo se muestran IMDP de los puntos señalados.

## 6.8. Conclusiones

En este capítulo se aplicó la metodología desarrollada para clasificar IMDP de la playa del Puntal en función de las variaciones morfodinámicas, para lo cual se utilizaron los estados del Modelo Morfodinámico de *Wright y Short* (1984) como categorías. Se inicio el entrenamiento es un mapa de  $7 \times 7$  unidades, pero una clasificación adecuada se obtuvo con un mapa de  $11 \times 11$ . El error en la clasificación o porcentaje de IMDP no clasificadas es del orden del 22 %, sin embargo este porcentaje se redujo realizando una inspección visual solo a los segmentos con incertidumbre. La serie encontrada describe una periodicidad anual 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 predominante, ya que los estados *RBB*, *TBR* y *LTT* se reparten el 23 %, 25 % y 21 % del periodo analizado. El estado *Reflejante* solo se encuentra en el 15 % del tiempo mientras que los estados *Disipativo* y *LBT* se observan durante el 8 % del tiempo cada uno.

Se realizó una clasificación visual de las 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, aunque con diferencias. 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.