

**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

## Modelo de Wright y Short (1984)

---

El concepto de *Estado Morfodinámico* tal y como es usado por WS84 implica tanto la morfología presente así como su interacción con la hidrodinámica. Las diferencias más evidentes entre los estados de playa son morfológicas. Sin embargo, también puede determinarse una *firma dinámica* asociada a cada uno de ellos. Esta *firma dinámica* fue obtenida mediante análisis espectral de datos de velocidad, presión y superficie libre y se clasificó en cuatro categorías principales:

1. Flujos oscilatorios debidos al oleaje incidente, con periodos entre 1 y 25 segundos. Estos flujos, capaces de poner en suspensión el sedimento, se incluyen en la banda de frecuencias del oleaje incidente en aguas profundas.
2. Flujos oscilatorios o casi-oscilatorios subarmónicos, debidos a ondas estacionarias y ondas de borde, con una frecuencia del orden de la mitad de la del oleaje incidente. Estos flujos tienen un amplio intervalo de frecuencias, incluyen a las ondas de borde atrapadas y subarmónicas.
3. Corriente neta debida disipación de energía del oleaje. Estas son propiamente las corrientes longitudinales producidas por el oleaje, las corrientes de retorno así como las corrientes *feeder*.
4. Corrientes de origen independiente del oleaje *i.e.*, viento, marea.

Las velocidades relativas de cada uno de esos modos de movimiento es altamente dependiente del estado morfodinámico, por lo que, además de las diferencias morfológicas, se puede establecer una *firma dinámica* para cada uno de los diferentes estados.

El modelo esta formado por 6 estados morfodinámicos. En los extremos del modelo se encuentran los estados reflejante y disipativo, el resto corresponde a 4 estados intermedios que describen las etapas evolutivas de una playa entre los estados extremos. A continuación se presenta una breve descripción de cada estado morfodinámico (para más detalles se recomienda al lector consultar *Wright y Short (1984)*).

## A.1. Playa disipativa

El estado de playa disipativa corresponde con lo que en textos clásicos ha dado en llamarse “perfil de invierno”. Las playas en este estado se caracterizan por tener pendientes suaves ( $\tan\beta = 0.01 - 0.02$ ) a lo largo de todo el perfil con una o más barras con senos muy poco acusados, que contribuyen a la disipación del oleaje. Las irregularidades longitudinales son prácticamente inexistentes (ver figura A.1). Los pequeños gradientes batimétricos favorecen la rotura en descrestamiento, lo que provoca una disipación progresiva de la energía del oleaje y da lugar a una ancha zona de rompientes. Esta zona se evidencia por el rastro blanco de espuma que deja este tipo de rotura a su paso. La playa disipativa suele tener una zona de *swash* muy ancha y una altura de ola en el frente de playa muy pequeña, debida a la eficiente disipación sufrida por el oleaje en su avance.

## A.2. Estado de playa con barra longitudinal y seno

El estado de playa con barra longitudinal y seno es el segundo estado de la secuencia de acreción. Se caracteriza por la presencia de, al menos, una barra longitudinal

## A.2 Estado de playa con barra longitudinal y seno

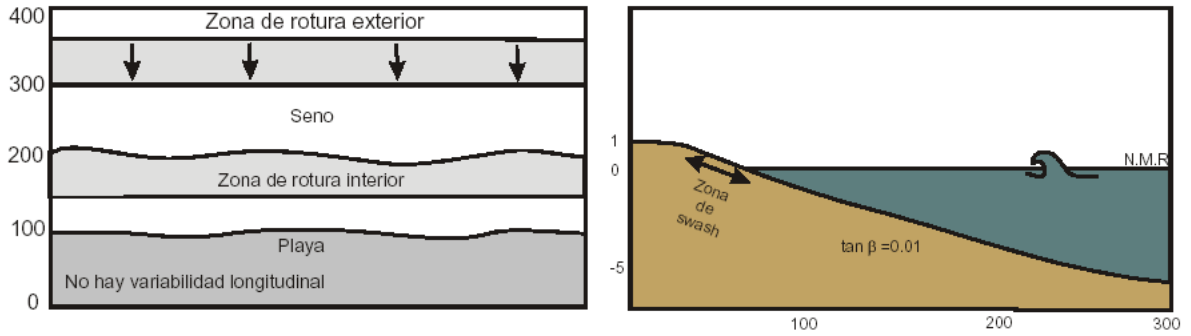


Figura A.1. Esquema del estado de una playa disipativa. Adaptado de WS84.

acusada y de perfil asimétrico, con el lado de tierra con mayor pendiente. En esta barra ocurre la rotura del oleaje. El incremento de la profundidad en el seno provoca que el oleaje se recomponga y vuelva a romper sobre el frente de playa (figura A.2). De este modo, aparecen dos zonas de rompientes paralelas y estrechas en lugar de una ancha que aparecía en el estado anterior. El frente de playa adquiere una mayor pendiente y se hace, por tanto, algo más reflejante. Esto provoca un cambio en el tipo de rotura del oleaje que suele ser tipo *surging* o colapso. El ascenso sobre el frente de playa es considerable y resulta habitual la presencia de *cusps*. La variabilidad longitudinal a lo largo de la playa sigue siendo de escasa consideración. El estado de barra longitudinal

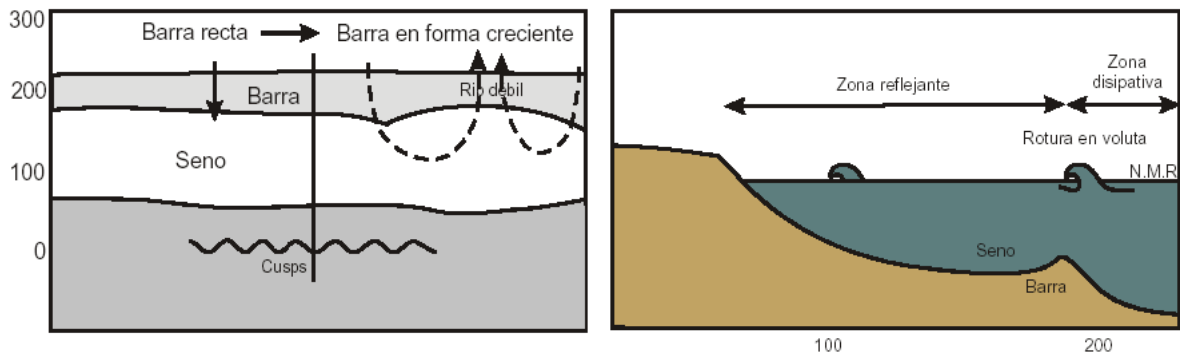


Figura A.2. Esquema del estado de una playa con barra longitudinal. Adaptado de WS84.

es el estado intermedio más disipativo y con mayor energía, pero, en comparación con las playas disipativas posee un tramo subaéreo de mayor pendiente y más reflejante. El *run-up* es mucho más importante. Las ondas infragravitatorias en la zona de rompiente

suelen ser de menor amplitud y de mayor frecuencia y las ondas de borde subarmónicas pueden actuar en la zona del frente de playa contribuyendo a la generación de *cusps*.

### A.3. Estado de playa y barra rítmicas

El estado de playa y barra rítmicas se caracteriza por la presencia de ondulaciones más o menos periódicas en el espacio. De este modo, aparecen unas formas aconchadas con sus lados cóncavos opuestos entre sí tanto en la cara interior de la barra como en el frente de playa. A esta concavidad se debe el nombre de *crescentic bars*, barras crecientes o barras con forma de creciente (ver figura A.3). Las distancias entre los salientes de este tipo de estructuras son del orden de unos 200 o 300 metros y se encuentran aproximadamente en oposición. Se presentan corrientes de retorno generando sistemas circulatorios rítmicos a lo largo de la playa. La distancia entre la barra y el frente de playa suele ser menor que en el caso del estado de barra longitudinal y seno, lo que se traduce en una migración relativa de la barra hacia la playa. Cuando el oleaje

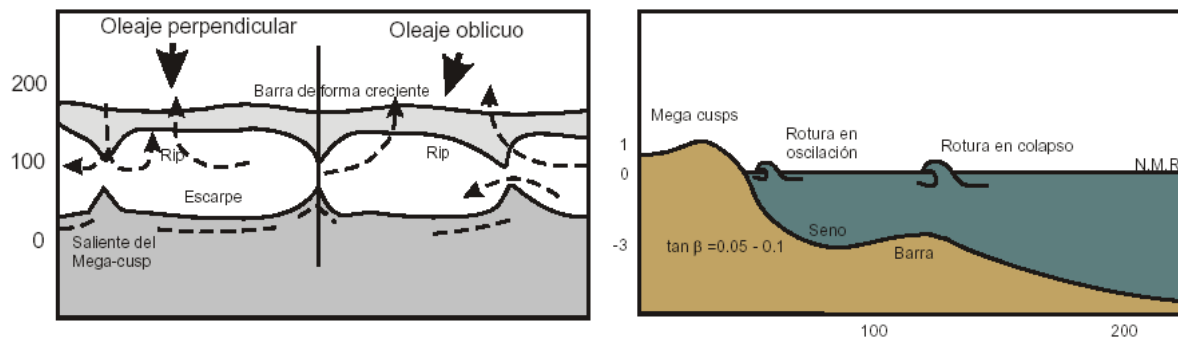


Figura A.3. Esquema del estado de una playa con barra rítmica. Adaptado de WS84.

incide de forma oblicua, las celdas circulatorias pierden su carácter simétrico y se genera una corriente longitudinal a lo largo de la playa. Las barras adquieren forma de 'T' y aparecen fragmentadas, el carácter longitudinal de estas pasa a presentar un cierto desarrollo transversal, aunque ésta no es su característica principal. Este estado es, en muchos aspectos, muy similar al anterior, salvo por el carácter rítmico de la barra que

aparece “rota” en varios puntos y con una forma más o menos curva (en forma de “creciente”). Otra diferencia significativa consiste en la presencia de *megacusps* (del orden de las centenas de metros) en el frente de playa. Las eventuales corrientes de retorno son más intensas que en el estado de barra longitudinal.

### A.4. Estado de playa con barras transversales y corrientes de retorno

Este estado aparece, en la secuencia de acreción, cuando el desarrollo transversal de las barras y el frente de playa llegan al extremo de que los salientes opuestos llegan a unirse formando una especie de puente entre el frente de playa y la barra, que aparece ahora más claramente fragmentada. Este esquema (Figura A.4) produce unas “barras transversales” de perfil disipativo alternando con zonas más profundas y de perfil más reflejante por donde se canalizan intensas corrientes de retorno, que constituyen el elemento más característico de este estado de playa por su intensidad y su persistencia. El extremo exterior de la barra se encuentra más cerca del frente de playa que en los estados anteriores. En este estado se presentan fuertes corrientes de retorno de gran

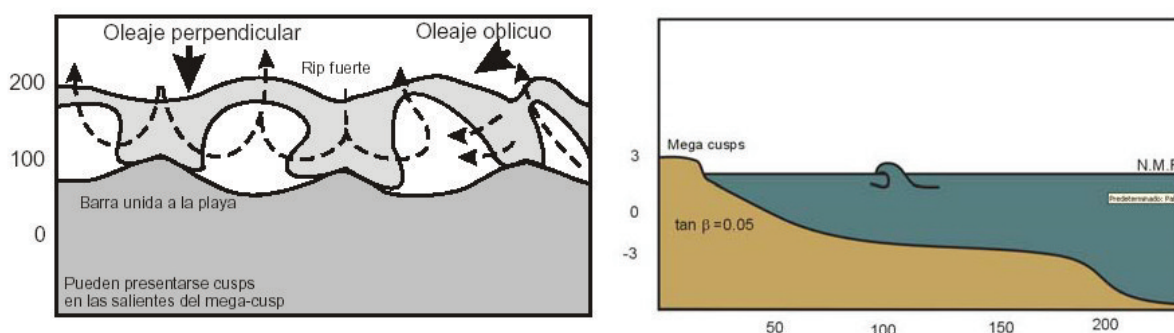


Figura A.4. Esquema del estado de una playa con barra transversales. Adaptado de WS84.

persistencia. Este estado se distingue de los anteriores por ser el de mayor desarrollo tridimensional y por una alternancia muy acusada de zonas disipativas y reflejantes a

lo largo de la playa, así como por sus intensas corrientes de retorno, que se destacan sobre las que pudieran medirse en cualquier otro estado.

## A.5. Estado de playa con terraza de bajamar

La migración de la barra hacia tierra llega en este estado al límite, fundiéndose en muchos tramos con el propio frente de playa y dejando un pequeño socavón alargado entre ellos. En la figura A.5 se muestra un esquema de este estado morfodinámico en donde además se aprecia la presencia de débiles corrientes de retorno en determinados puntos. Este estado es el menos energético de los intermedios y penúltimo paso de

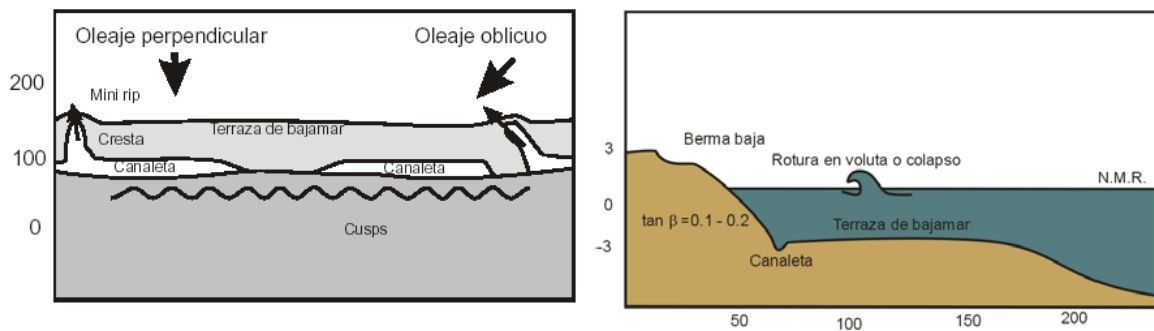


Figura A.5. Esquema del estado de una playa con terraza de bajamar. Adaptado de WS84.

la secuencia de acreción. La playa con terraza de bajamar es reflejante en pleamar y ligeramente disipativa en bajamar.

## A.6. Playa reflejante

El estado de playa reflejante constituye el final de la secuencia de acreción, donde la barra se ha integrado completamente con el frente de playa formando parte de la berma (Figura A.6). Este estado de playa carece de cualquiera de los elementos característicos del estado disipativo y corresponde con el “estado de verano” de la playa.

## A.6 Playa reflejante

Las playas reflejantes son, al igual que las disipativas, playas con poca variabilidad longitudinal, pero el resto de sus características son diametralmente opuestas. El frente de playa es estrecho y de gran pendiente, terminado generalmente en un escalón de playa compuesto por los materiales más gruesos y que aparece a una profundidad tanto mayor cuanto más grande sea la altura de ola incidente y a partir del cual, la pendiente de playa decrece sensiblemente. Suele presentarse una berma muy desarrollada o, bajo condiciones más energéticas, *cusps* rítmicos y pronunciados. La rotura del oleaje se produce habitualmente por colapso o por oscilación. En general, la granulometría de este tipo de playas es más gruesa que en las playas disipativas.

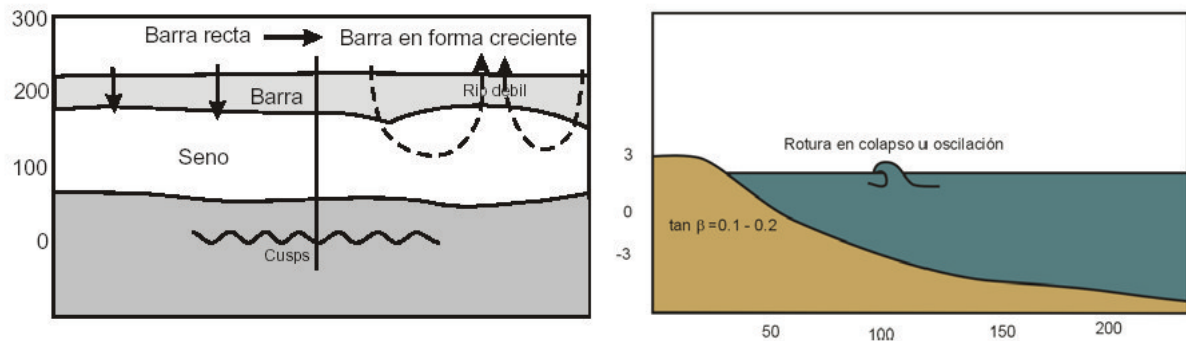


Figura A.6. Esquema del estado de una playa reflejante. Adaptado de WS84.





# SOM Toolbox

---

## B.1. Implementación de SOMs

La Helsinki University of Technology en 2002 desarrolló una serie de herramientas para calcular SOMs en Matlab y las agrupó en un *toolbox*. En esta *toolbox* se agrupa el conjunto de funciones necesarias para aplicar la técnica, obtener y visualizar resultados. El *toolbox*, y un manual de usuario están disponibles en <http://www.cis.hut.fi/projects/somtoolbox/>. En este apartado se explican estas herramientas y posteriormente se ilustran con algunos ejemplos básicos. El uso de la *toolbox* para procesar datos usando SOMs se divide en tres etapas: el preprocesamiento de datos, el entrenamiento y por último la visualización de resultados y análisis. A continuación se explicarán los detalles de cada etapa.

### B.1.1. Preparación de los datos

Los datos deben ordenarse en forma de tabla. Las columnas indican las variables, y por lo tanto en cada fila aparece el conjunto de variables que pertenece a cada conjunto de datos. La figura B.1 muestra un ejemplo del orden que deben seguir los datos. Todos los conjuntos de datos deben de contener las mismas variables. Las variables deben de ser numéricas, aunque es posible considerar una variable no-numérica

como etiqueta. El número de variables indica las dimensiones del problema  $r$ .

	VAR 1	VAR 2	...	VAR N-1	VAR N
SAM 1					
SAM 2					
⋮					
SAM M-1					
SAM M					

Figura B.1. Formato de la tabla de datos de entrada para el entrenamiento de una SOM. La tabla puede contener  $x_n^r$  variables en  $r$  muestreos. La única limitante es que para cada muestreo  $x_n^r$  debe de existir el mismo número de variables  $r$ .

El *toolbox* crea a partir de los datos, por medio de la función `som_read_data`, una estructura lista para ser entrenada en los siguientes pasos del procedimiento. Esta contiene la siguiente información.

- **type**: Indica el tipo de estructura y a consecuencia el tipo de información que contiene.
- **name**: Contiene el nombre del conjunto de datos.
- **data**: Contiene la matriz de datos. Cada columna incluye una variable, y cada fila un conjunto de variables. En esta matriz los elementos vacíos están indicados por NaNs.
- **labels**: Contiene las etiquetas que identifican a cada conjunto de datos.
- **comp\_norm**: Contiene información acerca de los procesos de normalización efectuados a cada componente. Cada celda en esta variable, incluye una estructura de normalización.

- **label\_names**: Contiene, al igual que **labels**, las etiquetas. Sin embargo, ésta solo debe usarse en los casos en que cada variable contenga una etiqueta distinta.

Previo al entrenamiento, si es el caso, las variables deben de ser normalizadas. La función `som_normalize` está preparada para realizar normalizaciones lineales, logarítmicas y ecualizaciones por medio de histogramas a cada una de las variables. La normalización de las variables es de gran importancia, ya que el algoritmo de entrenamiento calcula la distancia euclidiana entre los vectores, así que si las variables tienen escalas distintas, las de mayor escala dominarán los resultados sobre las menores. En general se desea que todas las variables tengan la misma importancia. La función `som_normalize` esta capacitada para realizar un tipo de normalización distinto a cada variable.

### B.1.2. Entrenamiento de un mapa SOM

Una vez normalizados los datos es posible pasar al entrenamiento. El entrenamiento parte de un vector inicial definido. Existen, en el toolbox, dos tipos de vectores iniciales, el aleatorio y el lineal, y dos algoritmos de entrenamiento, el secuencial y el completo. Estas opciones se encuentran incluidas en la función `som_make`.

El entrenamiento se realiza en dos etapas: un entrenamiento de aproximación (*rough training*) y un entrenamiento de ajuste fino (*fine-tunning training*). En el entrenamiento de aproximación se elige un vector inicial con un radio amplio, y una tasa de aprendizaje alta, por el contrario en el entrenamiento de ajuste fino, el radio es mucho menor y la tasa de aprendizaje es más lenta.

El resultado del entrenamiento es una estructura que contiene toda la información acerca de la SOM. La estructura contiene los siguientes campos:

- **type**: Indica el tipo de estructura y a consecuencia el tipo de información que contiene.

- **name:** Contiene el nombre del conjunto de datos.
- **codebook:** En cada fila de esta matriz se encuentra el vector de pesos de cada unidad del mapa. El orden de las unidades del mapa corresponde al orden de los elementos en una matriz en MATLAB: columna por columna.
- **topol:** Aquí se encuentra la información acerca de la topología del mapa: las dimensiones, el entramado y forma del mapa, etc.
- **neigh:** Contiene el nombre de la función de vecindad utilizada, puede ser: ‘gaussian’, ‘cutgauss’, ‘bubble’, o ‘ep’.
- **mask:** Este campo corresponde a la máscara de BMU. Mientras mayor sea el valor, mayor es el efecto de esa unidad en la organización. Haciendo el valor de alguna componente igual a cero el efecto se anula.
- **trainhist:** Contiene un arreglo de estructuras, que contiene información de la inicialización y del entrenamiento. Por ejemplo, el nombre de los datos entrenados y la técnica de entrenamiento usada. La primer estructura indica la información de la inicialización y el resto de los pasos intermedios del entrenamiento.
- **label\_names:** Contiene, al igual que **labels**, las etiquetas. Sin embargo, este campo solo debe usarse en los casos en que cada variable contenga una etiqueta distinta.
- **comp\_norm:** Incluye información acerca de los procesos de normalización efectuados a cada componente. Cada celda en esta variable, contiene una estructura de normalización.

### B.1.3. análisis de resultados

El toolbox tiene tres categorías de visualización:

- Por celdas:

Este tipo de visualización muestra la SOM tal y como existe en el espacio de salida: un entramado regular de unidades, donde cada unidad tiene unos valores asociados. La función `som_show` es básica en este tipo de representaciones. La función muestra la matriz de distancias unificadas (**U-matrix**) y la relación de cada una de las variables. La U-matrix indica la distancia entre las unidades vecinas en el mapa y ayuda a ver la estructura de grupos (*cluster*) en el mapa: Cambios bruscos en los valores indican los límites de los *cluster*, y los valores uniformes muestran al *cluster* por si mismo.

- En gráficas:

Este tipo de visualización muestra el *codebook* como un conjunto de gráficos convencionales. La idea es que cada unidad del *codebook* se presenta por ejemplo usando un histograma y cada histograma se coloca en el lugar de cada unidad. Existen diferentes funciones para realizar estos tipos de gráficos: `som_pieplane` para gráficos de pastel, `som_barplane` para histogramas y `som_plotplane` para simples gráficos de líneas.

- En mallas:

La función `som_grid` puede ser usada para graficar la malla en diferentes estilos. La idea de esta visualización consiste en que un conjunto de datos es simplemente un grupo de objetos, cada uno con una posición definida, color y forma. Adicionalmente las conexiones entre objetos pueden ser mostradas usando líneas.



# Bibliografía

---

- Aarninkhof, S. J. C. (2003), Nearshore bathymetry derived from video imagery., Phd thesis, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands.
- Abdel-Aziz, Y. I., y H. M. Karara (1971), Direct linear transformation from comparator coordinates into object-space coordinates in close-range photogrammetry, en *Proceedings of the ASP/UI Symposium on Close-Range Photogrammetry*, editado por A. S. of Photogrammetry, pág. 1–18, Falls Church, VA,.
- Ambroise, C., G. Seze, F. Badran, y S. Thiria. (2000), Hierarchical clustering of self-organizing maps for cloud classification., *Neurocomputing*, 30(1), 47–52.
- Boyle, R. D., y R. C. Thomas (1988), *Computer vision: a first course*, Blackwell Scientific Publications, Ltd., Oxford, UK, UK.
- Brandt, S., J. Laaksonen, y E. Oja (2002), Statistical shape features for content-based image retrieval., *Journal of Mathematical Imaging and Vision*, 17(2), 187–198.
- Buchsbaum, W. H. (1975), *Color TV Servicing*, 3rd ed. ed., Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Camus, P. (2009), Metodologías para la definición del clima marítimo en aguas profundas y someras: Aplicaciones en el corto, medio y largo plazo., Tesis Doctoral, Universidad de Cantabria.
- Cavazos, T. (2000), Using self-organizing maps to investigate extreme climate event: An



- application to wintertime precipitation in the balkans., *Journal of Climate*, 13(10), 1718–1732.
- Cavazos, T., A. C. Comrie, y D. M. Liverman (2002), Intraseasonal variability associated with monsoons in southeast arizona., *Journal of Climate*, 15(17), 2477–1490.
- Chen, L., y J. Gasteiger (1997), Knowledge discovery in reaction databases: Landscaping organic reactions by a self-organizing neural network., *Journal of the American Chemical Society*, 119(17), 4033–4042.
- Chesnut, C. (2004), Self organizing map ai for pictures: aisompic., <http://www.brains-n-brawn.com/default.aspx?vDir=aisompic>.
- Di Gesù, V., y V. Starovoitov (1999), Distance-based functions for the image comparison., *Pattern Recognition Letters*, 20(2), 207–214.
- Di Gesù, V., y C. Valenti (1996), Symmetry operators in computer vision., *Vistas in Astronomy*, 40(4), 461–468.
- Fundación Leonardo Torres Quevedo (1990), *Rep. téc.*
- Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas de la Univesidad de Cantabria (), Documento temático. regeneración de playas, España.
- Gutiérrez, J. M., R. Cano, A. S. Cofiño, y C. M. Sordo (2004), *Redes Probabilísticas y Neuronales en las Ciencias Atmosféricas*, Series Monográficas, Dirección General del Instituto Nacional de Meteorología. Ministerio del Medio Ambiente, Madrid.
- Hewitson, B. C., y R. G. Crane (2002), Self-organizing maps: Applications to synoptic climatology., *Journal of Climate*, 16, 1775–1790.
- Holland, K. T., R. A. Holman, T. C. Lippman, J. Stanley, y N. Plant (1997), Practical use of video imagery in nearshore oceanographic studies., *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 22(1).

## BIBLIOGRAFÍA

---

- Holman, R. A. (1981), Infragravity energy in the surf zone, *Journal of Geophysical Research*, 86(C7), 6442–6450.
- Holman, R. A., y A. J. Bowen (1984), Longshore structure of infragravity wave motions., *Journal of Geophysical Research*, 89(C4), 6446–6452.
- Hsieh, W. W., y B. Tang (1998), Applying neural network models to prediction and data analysis in meteorology., *Bulletin of the American Meteorology Society*, 79, 1855–1870.
- Jiménez, J. A., A. Osorio, I. Marino-Tapia, M. Davidson, R. Medina, A. Kroon, R. Archetti, P. Ciavola, y S. G. J. Aarnikhof (2007), Beach recreation planning using video-derived coastal state indicators, *Coastal Engineering*, (54), 507–521.
- Joutsiniemi, S. L., S. Kaski, y T. A. Larsen (1995), Self-organizing map in recognition of topographic patterns of eeg spectra., *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, (42), 1062–1068.
- Kaski, S., y E. Oja (1999), *Kohonen Maps*, Elsevier Science Inc., New York, NY, USA.
- Kohonen, T. (2000), *Self-Organizing Maps.*, 3rd ed., Springer-Verlag, Berlin.
- Koskela, M., J. Laaksonen, y E. Oja (2001), Comparison techniques for content-based image retrieval., en *Proceedings of the 12th Scandinavian conference on image analysis (SCIA 2001)*, pág. 579–586, Bergen, Norway.
- Kroon, A., M. A. Davidson, S. G. J. Aarninkhof, R. Archetti, C. Armaroli, M. Gonzalez, S. Medri, A. Osorio, T. Aagaard, R. A. Holman, y R. Spanhoff (2007), Application of remote sensing video systems to coastline management problems, *Coastal Engineering*, (54), 493–505.
- Laaksonen, J., M. Koskela, S. Laakso, y E. Oja. (2000), Picsom - content-based image retrieval with self-organizing maps., *Pattern Recognition Letters*, 21, 1199 –1207.

- Laaksonen, J., V. Viitaniemi, y M. Koskela (2005a), Emergence of semantic concepts in visual databases, en *Proceedings of AKRR'05, International and Interdisciplinary Conference on Adaptive Knowledge Representation and Reasoning*, editado por T. Honkela, V. Könönen, M. Pöllä, y O. Simula, pág. 127–134, Espoo, Finly.
- Laaksonen, J., V. Viitaniemi, y M. Koskela (2005b), Application of self-organizing maps and automatic image segmentation to 101 object categories databse., en *Proceedings of Fourth International Workshop on Content-Based Multimedia Indexing (CBMI 2005)*, Riga, Latvia.
- Lillesand, T. M., y R. W. Kiefer (1987), *Remote sensing and Image interpretation*, 2nd ed., Ed. Wiley.
- Lippmann, T. C., y R. A. Holman (1990), The spatial and temporal variability of sand bar morphology, *Journal of Geophysical Research*, 95(C7), 11,575–11,590.
- Lippmann, T. C., y R. A. Holman (1991), Phase speed and angle of breaking waves measured with video techniques, en *Proceedings, Coastal Sediments '91*, editado por N. Kraus, pág. 542–556, ASCE, New York.
- Malmgren, B. A., y A. Winter (1999), Climate zonation in puerto rico based on principal components analysis and an artificial neural network., *Journal of Climate*, 12(4), 977–985.
- Masselink, G., y A. D. Short (1993), The effect of tidal range on beach morphodynamics and morphology: A conceptual model., *Journal of Coastal Research*, 9(3), 785–800.
- Medellin, G., R. Medina, A. Falqués, y M. González (2008), Coastline sand waves on a low-energy beach at “el puntal” spit, spain., *Marine Geology*, 250(3-4), 143–156.
- Medellin, G., A. Falqués, R. Medina, y M. González (2009), Coastline sand waves on a low-energy beach at el puntal spit, spain: Linear stability analysis, *Journal of Geophysical Research*, 114(C3), C03,022.

- Medina, R., I. Mariño-Tapia, A. Osorio, M. Davidson, y F. L. Martín (2007), Management of dynamic navigational channels using video techniques, *Coastal Engineering*, 54(6-7), 523–537.
- Molinier, M., J. Laaksonen, J. Ahola, y T. Häme. (2005), Self-organizing map application for retrieval of man-made structures in remote sensing data., en *Proceedings of ESA-EUSC 2005: Image Information Mining - Theory and Application to Earth Observation.*, Frascat, Italy.
- Ojeda, E. (2008), Shoreline and nearshore bar morphodynamics of beaches affected by artificial nourishment, Phd thesis, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.
- Osorio, A. (2005), Desarrollo de técnicas y metodologías basadas en sistemas de video para la gestión de la costa., Phd thesis, Universidad de Cantabria. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
- Palakal, M. J., U. Murthy, S. K. Chittajallu, y D. Wong (1995), Tonotopic representation of auditory responses using self-organizing maps., *Mathematical and computer modelling*, 22(2), 7–21.
- Schizas, C. N., C. S. Pattichs, y S. C. Michaelides. (1994), Forecasting minimum temperature with short timelength data using artificial neural networks., *Neural Network World*, (4), 219–230.
- Short, A. D. (1979), Three dimensional beach-stage model., *Journal of Geology*, 87, 553–571.
- Smit, M. W. J., S. G. J. Aarninkhof, K. M. Wijnberg, M. González, K. S. Kingston, H. N. Southgate, B. G. Ruessink, R. A. Holman, E. Siegle, M. Davidson, y R. Medina (2007), The role of video imagery in predicting daily to monthly coastal evolution, *Coastal Engineering*, 54(6-7), 539–553.
- Somervuo, P., y T. Kohonen (1999), Self-organizing maps and learning vector quantization for feature sequences., *Neural Processing Letters*, 10(2), 151–159, doi: <http://dx.doi.org/10.1023/A:1018741720065>.

- Stockdon, H. F., y R. A. Holman (2000), Estimation of wave phase speed and nearshore bathymetry from video imagery, *Journal of Geophysical Research*, C9(105), 22,015–22,033.
- Stricker, M., y M. Orengo (1995), Similarity of color images, pág. 381–392.
- Vesanto, J., J. Himberg, E. Alhoniemi, y J. Parhankangas (2000), Som toolbox for matlab 5, *Rep. Téc. A57*, Helsinki University of Technology, P.O. Box 5400, FIN-02015 HUT, Finland, <http://www.cis.hut.fi/projects/somtoolbox/>.
- Wright, L., J. Chappell, B. Thom, M. P. Bradshaw, y P. Cowell (1979), Morphodynamics of reflective and dissipative beach and inshore systems: Southeastern Australia., *Marine Geology*, 32, 105–140.
- Wright, L. D., y A. D. Short (1984), Morphodynamic variability of surf zones and beaches: A synthesis, *Marine Geology*, 56, 93–118.
- Wright, L. D., A. D. Short, y M. O. Green (1985), Short term changes in the morphodynamic states of beaches and surf zones: An empirical predictive model., *Marine Geology*, 62, 339–364.