

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS Y TÉCNICAS  
DEL AGUA Y DEL MEDIO AMBIENTE

---

TESIS DOCTORAL

VARIABILIDAD ESPACIAL Y TEMPORAL DEL RECURSO  
SURF: METODOLOGÍA Y RESULTADOS

---

Presentada por: ANTONIO ESPEJO HERMOSA

Dirigida por: IÑIGO J. LOSADA RODRIGUEZ  
FERNANDO J. MÉNDEZ INCERA

Junio 2011

## CAPÍTULO 9

### CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE

### INVESTIGACIÓN



## 9.1. Conclusiones

Esta tesis esta dedicada al estudio de la variabilidad climática de las condiciones de surf. En primer lugar, se ha plasmado la necesidad de estudiar el surf como recurso natural susceptible de ser aprovechado debido a la creciente popularidad de este deporte y dado a que está estrechamente vinculado con la ciencia de la oceanografía, meteorología y dinámica litoral. Además, queda claro que la ocurrencia de condiciones meteo-oceanográficas favorables es una condición imprescindible para la disponibilidad de este recurso.

Para la correcta caracterización del recurso surf se han planteado tres escalas espaciales, local, regional y global, de las cuales, esta tesis presenta avances en la evaluación del recurso en las dos últimas, teniendo siempre presente los procesos locales que gobiernan la surfeabilidad en la rompiente. Estas escalas espaciales han sido abordadas desde la perspectiva temporal anual, interanual y largo plazo, con el fin de que la disponibilidad de condiciones de surf y su variabilidad climática quede correctamente evaluada.

Tanto en la escala global como regional, los datos de partida más idóneos han resultado ser los procedentes del modelado numérico, pues son cuantitativamente muy fiables, con un registro temporal suficientemente largo y de cobertura global. A pesar de ello, estos datos han sido corregidos mediante una metodología de calibración direccional basado en datos de satélite, y posteriormente validados con registros instrumentales de boyas. En la escala regional, debido a que se necesitan datos con una alta resolución espacial, ha sido necesario el empleo de métodos de *downscaling* híbrido para conocer el oleaje en las proximidades de la costa con un alto nivel de detalle.

Debido al carácter multivariado de las condiciones de surf, se ha desarrollado un sistema de evaluación estandarizado y objetivo que integra el conjunto de variables que rigen la disponibilidad del recurso surf. Este sistema de evaluación difiere según la escala a analizar, ya que en la escala global existen una serie de factores distintivos cuya evaluación en la escala regional carece de interés. Así, en la escala global, se ha desarrollado el índice denominado *Global Surf Index*, que además de evaluar la idoneidad

del oleaje y el viento, tiene en consideración la temperatura superficial del agua, la duración del día y la marea astronómica.

En la escala regional, gracias a la disponibilidad de herramientas que permiten conocer el oleaje con un alto grado de precisión, el índice *Regional Surf Index*, evalúa específicamente la calidad del oleaje para la práctica del surf. Para ello, además de evaluar los parámetros que comúnmente se utilizan para describir el oleaje, se ha desarrollado un sistema de evaluación que cuantifica la idoneidad espectral del oleaje del oleaje, considerando la dispersión frecuencial y direccional de los espectros horarios en cada punto analizado. La evaluación de estas características del espectro carece de sentido en aguas profundas. Sin embargo, en las proximidades de la rompiente, cuando el oleaje ha sufrido la mayor parte de transformaciones inducidas por el fondo, los parámetros antes descritos resultan ser buenos indicadores de la calidad del oleaje.

Del análisis estadístico de las series temporales horarias de *GSI* y *RSI*, se han obtenido una serie de resultados que se resumen en el apartado correspondiente de este capítulo.

## 9.2. Resumen de aportaciones

Esta tesis supone el primer análisis global de las condiciones de surf en el globo. La información obtenida mediante la realización de este trabajo es, en relación a la disponibilidad de condiciones de surf, la única basada en datos contrastados y obtenidos mediante el empleo de una metodología científica.

En esta tesis, se presenta el primer análisis global de disponibilidad de condiciones de surf. Además, se ofrece información visual (mapas) muy valiosa acerca de climatología del recurso, la variabilidad interanual y en el largo plazo. A pesar de la existencia de un gran número de trabajos que analizan el oleaje globalmente, esta tesis presenta el primer estudio donde se combinan las variables más relevantes en el surf, y se analiza estadísticamente la distribución conjunta de las mismas.

Para estudiar la variabilidad climática de las condiciones de surf se han desarrollado una serie de índices estandarizados que se basan en los aspectos preferenciales de la mayoría

de surfistas. Al mismo tiempo, para el establecimiento de los criterios de evaluación, se han considerado los requerimientos que impone cada escala espacial de análisis. Estos índices se integran en el *Global Surf Index* y el *Regional Surf Index*, los cuales se presentan como uno de los aportes fundamentales de esta tesis, pues sin ellos, el estudio de la variabilidad climática de las condiciones de surf no sería posible.

En lo referente a la disponibilidad mensual de condiciones de surf, se ha presentado un estudio comparativo en las zonas donde frecuentemente tienen lugar las pruebas del circuito mundial de surf organizado por la ASP (*Association of Surfing Professionals*). Este análisis, además de demostrar la aplicabilidad de la metodología propuesta, resulta de gran utilidad para la organización de eventos de este tipo.

El estudio de la variabilidad interanual de las condiciones de surf se basa en la correlación de la disponibilidad de las mismas con el comportamiento macro-escalar de la atmósfera, o patrones climáticos. Este análisis ha demostrado una alta dependencia, con lo que estos patrones de variabilidad atmosférica de baja frecuencia, pueden ser empleados en las predicciones estacionales del recurso.

Para la escala regional, se ha desarrollado un índice, el *Swell Quality Index*, que evalúa conjuntamente la idoneidad de las características espectrales del oleaje a través de los parámetros de dispersión direccional y frecuencial. Este índice mejora cuantitativamente la estima de la calidad de las condiciones de surf.

En el análisis de las condiciones de surf en el Cantábrico Oriental se ha hecho uso de las metodologías más novedosas para la transferencia de oleaje desde profundidades indefinidas hasta la costa. Además, en esta escala se han empleado datos de vientos procedentes de un modelo atmosférico regional de alta resolución, lo cual mejora cuantitativamente los resultados obtenidos. Esto ha permitido calcular las características espectrales del oleaje en las proximidades de la línea de rotura, sentando las bases metodológicas para abordar los problemas que se plantean a la hora de elegir la mejor localización para la construcción de arrecifes artificiales para el surf.

Esta tesis presenta el primer estudio regional de variabilidad climática de las condiciones de surf. Este estudio se ha acompañado de un análisis profundo del oleaje en un punto en aguas profundas representativo de la zona de estudio, el cual, ofrece información necesaria que corrobora los resultados obtenidos tras la aplicación del RSI. La principal novedad de este análisis es el estudio, en las tres escalas temporales establecidas, de los parámetros de dispersión direccional y frecuencial, que además de ser indicativos de la calidad del surf, aportan información acerca de la multimodalidad del espectro y del grado de desarrollo del oleaje.

Por último, se ha planteado un nuevo enfoque para el estudio de la variabilidad climática de las condiciones de surf a través de la climatología sinóptica o tipos de tiempo. Este estudio, basado en las últimas técnicas estadísticas de clasificación de espacios multidimensionales, ha permitido relacionar las situaciones atmosféricas medias 3-diarias con las condiciones de surf en la zona de Santander, y en un punto al pie de la barra de Mundaka. El análisis presentado, además de aportar una gran cantidad de información, combina la variabilidad atmosférica con la variabilidad en la forma espectral y la disponibilidad de condiciones de surf, lo cual facilita el entendimiento de los procesos macro y meso-escalares involucrados en la definición de las condiciones de surf. Esta metodología es además aplicada en la escala estacional, ofreciendo de una forma visual, la probabilidad de ocurrencia de cada situación atmosférica 3-diaria en cada una de las estaciones y por tanto de las condiciones de surf más probables. El concepto del espectro direccional promediado en una unidad de tiempo (3 días, un mes, un año), abre un campo nuevo para el análisis de la variabilidad climática del mismo, por lo que es considerado como un aporte importante de este trabajo.

### 9.3. Resumen de resultados

El análisis global de las condiciones de surf muestra como éstas obedecen al patrón de circulación zonal de la atmósfera, presentando una mayor disponibilidad del recurso en el Hemisferio Sur. Los resultados muestran un patrón muy diferente en función de la orientación de la costa, estando la cara este de los continentes dominados por oleajes tipo *windswell*, y la oeste por *groundswell*. Por este motivo, la probabilidad de condiciones

de surf de alta calidad es más frecuente en costas orientadas al oeste situadas en latitudes intermedias. En la cara este, las condiciones de surf, además de ser de menor calidad, son menos frecuentes. Así, destacan zonas como Indonesia, Chile y Perú, o la costa oeste de Australia, como los lugares con mayor probabilidad de ocurrencia de condiciones de surf de alta calidad.

El estudio de la variabilidad estacional de las condiciones de surf muestra ciclos anuales muy diferentes en función de la latitud y la orientación de la costa. Así, el Hemisferio Norte muestra unas variaciones estacionales mucho más intensas que las observadas en el Hemisferio Sur. Destacan la costa de California y de América Central, que a pesar de encontrarse en latitudes positivas, reciben frecuentemente *swells* de los Mares del Sur, lo que aumenta considerablemente la disponibilidad del recurso durante los meses de verano.

El estudio de la variabilidad interanual demuestra la alta dependencia de la ocurrencia de condiciones de surf con los principales modos de variabilidad de baja frecuencia de la atmosfera. Así, fenómenos como El Niño, favorecen la ocurrencia de condiciones de surf en las costas de California mientras que las perjudican en la costa este de Australia. Sin embargo, son los patrones atmosféricos regionales, los que han demostrado ejercer mayor influencia en las condiciones de surf. Así, en el Atlántico Norte, fases positivas de la NAO o la AO se relacionan intensamente con la ocurrencia de condiciones de surf de alta calidad en las costas de Portugal y norte de España, mientras que fases positivas de la EA muestran una zona de afección más localizada que solo incluye el norte de España. En el Pacífico Norte, fases positivas del patrón PNA favorecen la disponibilidad de surf al sur del Golfo de Alaska hasta Baja California. El índice SAM, patrón de variabilidad del Hemisferio Sur, muestra correlaciones positivas en la mayoría de las costas orientadas al oeste en dicho hemisferio, sin embargo, sus efectos en el surf son claramente perceptibles en la costa pacífica de América Central.

Del análisis global de las tendencias se han obtenido conclusiones muy relevantes que indican un aumento generalizado de la probabilidad de ocurrencia de condiciones de surf en todo el globo a excepción de las costas ecuatoriales orientadas al este. Las



tendencias observadas en los 60 años analizados obedecen fundamentalmente al aumento del  $T_p$ .

El estudio regional de las condiciones de surf en el Cantábrico Oriental muestra una mayor disponibilidad de condiciones de surf de alta calidad en aquellos tramos con orientación ENE. Esto es debido a que en estas zonas, el oleaje incide con mayor grado de limpieza debido fundamentalmente a la refracción. En la zona de estudio destacan zonas como Mundaka, la ensenada de Laredo o la del Sardinero como aquellas zonas que presentan condiciones de oleaje y viento más favorables. El estudio de la variabilidad estacional muestra un patrón diferenciado entre invierno y verano, siendo más frecuente el surf durante la época estival en las playas más expuestas. Sin embargo, la probabilidad de condiciones de surf se incrementa enormemente durante el invierno, debido a la mayor actividad de los vientos extratropicales en esta época.

El estudio de la variabilidad interanual demuestra una alta dependencia de la disponibilidad de condiciones de surf con la AO y NAO, siendo el patrón del Atlántico Este (EA) el mejor predictor en la zona de estudio. Esta situación es la que mejores condiciones genera, pues origina oleajes del WNW-NW de un tamaño moderado que inciden acompañados de vientos *offshore* del SW. El estudio de las tendencias, muestra valores positivos entorno a 4-6 horas/año en las zonas relativamente protegidas del oleaje dominante, siendo ésta más acusada durante el invierno y la primavera. En verano, sin embargo, son los tramos orientados al WNW los que mayores tendencias presentan.

El análisis de las condiciones de surf basado en los tipos de tiempo ha demostrado ser una herramienta muy útil para caracterizar las condiciones de surf en el corto y medio plazo, pudiendo además ser empleada en el largo y muy largo plazo. Esta herramienta ha permitido identificar qué situaciones atmosféricas son las más favorables para el surf en la región. El análisis del espectro direccional del oleaje permite una caracterización detallada del mismo en el dominio de las direcciones y frecuencias, ya que cada tipo de tiempo se relaciona unívocamente con un tipo de espectro. Este análisis revela la importancia que tiene para el surf la transformación del oleaje por los procesos de propagación. Así, los espectros 3-diaros calculados en la posición de Mundaka,

demuestran el aumento en el  $T_p$ , y una disminución de la dispersión frecuencial y direccional originados por la configuración de la batimetría y los contornos de tierra.

## 9.4. Futuras líneas de investigación

Debido al carácter multidisciplinar de este trabajo (climatología, clima marítimo, oleaje a corto plazo, turismo etc.), han quedado muchas ideas y tareas pendientes que podrían abrir nuevas líneas de investigación para ser desarrolladas en un futuro. A continuación, se proponen algunas de ellas:

- Análisis del recurso surf considerando la disponibilidad de rompientes y estableciendo criterios específicos que evalúen las condiciones de surf en cada una de ellas.
- Aplicación e implementación de la metodología propuesta a un sistema operacional de *nowcast* y *forecast* combinado con sistemas de monitorización sistemáticas que ayuden a validar y mejorar de los criterios propuestos en este trabajo.
- Estudio de la disponibilidad de surf considerando además parámetros espectrales desagregados (*seas* y *swells*).
- Análisis de la persistencia de las condiciones de surf en el globo, complementando el trabajo aquí realizado, basado en la probabilidad o tasa de ocurrencia.
- Análisis de los efectos del cambio climático en la disponibilidad de condiciones de surf, proyecciones según escenarios del IPCC.
- Estudio de la variabilidad climática de otros recursos dependientes del clima y de carácter multivariado, energía del oleaje, energía eólica *offshore*, recurso pesquero.

- Análisis de las posibles mejoras en la elección del dominio empleado como predictor tanto en la clasificación con EOFs como en los tipos de tiempo.
- Estudio de la variabilidad climática de la forma espectral mediante los tipos de tiempo.
- Proyecciones de cambio climático de la forma espectral a partir de la metodología de tipos de tiempo.
- Análisis de la capacidad explicativa del espectro direccional de oleaje como elemento integrador de procesos climáticos acontecidos a distintas escalas espaciales.
- Aplicación de las técnicas estadísticas de clasificación al espectro direccional de oleaje.
- Aplicación de la metodología para el cálculo del espectro tres diario en otros campos como, el transporte de sedimentos o los sistemas de aprovechamiento de energía del oleaje.

## REFERENCIAS



- 
- Allan, J.C., P.D. Komar (2000). Are ocean wave heights increasing in eastern North Pacific? *Eos Transactions. AGU*, 81, 561-566.
- Alves, J.H., I.R. Young (2003). On estimating extreme wave heights using combined Geosat, TOPEX/Poseidon and ERS-1 altimeter data, *Applied Ocean Research*, 25 (4), 167-186.
- Alves, J.H. (2006). Numerical modeling of ocean swell contributions to the global wind-wave Climate, *Ocean Modelling*, 11(1-2), 98-122.
- Ambaum, M.H.P., B.J. Hoskins, D.B. Stephenson (2001). Arctic Oscillation of North Atlantic Oscillation? *Journal Climate*, 14, 3495-3507.
- Ancell R., J.M. Gutiérrez (2008). High resolution probabilistic forecast using Bayesian networks, *EMS Annual Meeting 2008, European Conference on Applied Climatology (ECAC)*.
- Ancell, R., M. Bermejo, L.M. Oviedo (2009). Cambios observados en los tipos de tiempo, *Boletín de la Asociación Meteorológica*, 25, 32-36.
- Anderberg, M. R. (1973). *Cluster Analysis for Applications*, Academic Press, New York.
- Atkins, A. (1997). "Billion Dollar Breakers: The Professional Surfing World". ABC Radio National.
- Bancroft, S. (1999). *Performance Monitoring of the Cable Stations Artificial Surfing Reef*, Perth, Australia, Department of Environmental Engineering, University of Western Australia, Bachelor's dissertation, 153p.
- Barbosa, SM., OB., Andersen (2009). Trend patterns in global sea surface temperature. *International Journal of Climatology*, 29, 2049-2055.

- Barber, N., F. Ursell (1948). The generation and propagation of ocean waves and swell. I. Wave periods and velocities, *Philos. Trans. Rot. Soc. London* 240A, 527-560.,
- Barnston, A.G., R.E. Livezey (1987). Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns, *Monthly Weather Review*. 115, 1083-1126.
- Battjes, J. (1974). Surf Similarity, *Proc 14th International Conference on Coastal Engineering*, pp. 466-479.
- Battjes, J.A., G.P., van Vledder (1984). Verification of Kimura's theory for wave group statistics, *Proc. 19th Int. Conf. Coastal Eng.*, Houston (ASCE), 642-648.
- Battalio, B. (1994). Estimating breaking wave height at Ocean Beach, San Francisco. *Shore and Beach*, 62(4), 33-36.
- Bermejo, M. y R. Ancell (2009). Observed changes in extreme temperatures over Spain during 1957-2002, using Weather Types. *Revista de Climatología*, 9, 45-61.
- Booij, N., R.C. Ris, L.H. Holthuijsen (1999). A third-generation wave model for coastal regions. I. Model description and validation, *Journal of Geophysical Research*, 104(C4), 7649-7666.
- Bromirski, P.D., D.R. Cayan, R.E. Flick (2005). Wave spectral variability in the northeast Pacific, *Journal of Geophysical Research*, 110(C03005).
- Browne, M., B. Castelle, D. Strauss, R. Tomlinson, M. Blumenstein, C. Lane (2007). Near-shore swell estimation from a global wind-wave model: Spectral process, linear and artificial neural network models, *Coastal Engineering*, 54, 445-460.
- Buckley, R. (2002a). Surf tourism and sustainable development in the Indo-Pacific islands: the industry and the islands. *Journal of Sustainable Tourism*, 10(5), 405-424.

- Buckley, R. (2002b). Surf tourism and sustainable development in the Indo-Pacific islands: recreational capacity management, *Journal of Sustainable Tourism*, 10(5), 425–442.
- Butt, T., P. Russell (2002). Surf Science: An introduction to Waves for Surfing, *Honolulu, University of Hawaii Press*.
- Caires, S., A. Sterl (2003). Validation of ocean and wind data using triple collocation, *Journal of Geophysical Research*, 108: 3098.
- Caires, S., A. Sterl (2005). 100-year return value estimates for ocean wind speed and significant wave height from the ERA-40 data, *J. Climate*, 18, 1032-1048.
- Camus, P. (2009). *Metodologías para la definición del clima marítimo en aguas profundas y someras: aplicaciones en el corto, medio y largo plazo*. Universidad de Cantabria, Tesis doctoral.
- Cartwright, D.E., M.S. Longuet-Higgins (1956). The statistical distribution of the maxima of random function, *Proc. Roy. Soc. London A* 237, 212-232
- Cassou C., L. Terray (2001). Oceanic Forcing of the Wintertime Low-Frequency Atmospheric Variability in the North Atlantic European Sector: A Study with the ARPEGE Model, *Journal of Climate*, 14, 4266-4291.
- Chen, G., S.E. Belcher (2000). Effects of long waves on wind-generated waves, *J. Phys. Oceanogr.* 30 (9), 2246–2256.
- Chen, G., B. Chapron, R. Ezraty, D. Vandemark (2002). A Global View of Swell and Wind Sea Climate in the Ocean by Satellite Altimeter and Scatterometer, *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 19(11), 1849.



- Chen, Q. J.M. Kaihatu, P.A. Hwang (2004). Incorporation of wind effects into Boussinesq wave models, *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, 130(6), 312–321.
- Colas, A. (2001). *The World Stormrider Guide, vol.1*, Low Pressure Ltd. British Library, ISBN: 0953984001
- Dally, W.R. (1989). Quantifying beach ‘surfability’ *Proceedings of the Beach Technology Conference* (Tampa, Florida), pp. 47–58.
- Dally, W.R. (2001). Improved stochastic models for surfing climate. *Journal of Coastal Research*, Special Issue No. 29, pp. 33–40.
- Deser, C., J.E. Walsh, M.S. Timlin (2000). Arctic sea ice variability in the context of recent wintertime atmospheric circulation trends, *Journal of Climate* 13, 617–633.
- Díaz, S.C., R. Touchan, T.W. Swetnam (2001). A tree-ring reconstruction of past precipitation for Baja California Sur, Mexico, *International Journal of Climatology*. 21, 1007–1019.
- Donelan, M.A. (1987). The effect of swell on the growth of wind waves, Johns Hopkins *APL Tech. Digest* 8, 18–23.
- Donelan, M.A., W.M. Drennan, K.B., Katsaros (1997): The air–sea momentum flux in conditions of wind sea and swell, *Journal of Physical Oceanography*, 27 (10), 2087–2099.
- Dolnicar, S., M. Fluker (2003): Behavioral market segments among surf tourists investigating past destination choice, *Journal of Sport Tourism*, 8(4), 335–343.
- Douglass, S.L. (1990). “Influence of wind on breaking waves” *J. Water., Port, Coastal, Ocean Eng.*, 116(6), 651–663.

- Dyer, W., K. Hyams (2001). Assessment of the Potential Contribution of Marinas and Watersports to Increasing Prosperity in Cornwall. Bristol, England: *Ove Arup and Partners International Ltd.*, Report for Job number 67566/00, 124p.
- Ewing, J.A., A.K. Laing (1987). Directional spectra of seas near full development, *J. Phys. Oceanogr.*, 17, 1696–1706.
- Franke, R. (1982). Scattered data interpolation: test of some methods, *Math. Comp.*, 38, 181-200.
- Feddersen, F., F. Veron (2005). Wind effects on shoaling wave shape, *Journal of Physical Oceanography*, 35 (7), 1223–1228.
- Fitzgerald, D.M. (1996). Geomorphic variability and morphologic and sedimentologic controls of tidal inlets, *Journal of Coastal Research*, Special Issue No. 23, pp. 47–71.
- Folland, C.H., J.A. Renwick, M.J. Salinger, A.B. Mullan (2002). Relative influences of the interdecadal Pacific Oscillation and ENSO on the South Pacific Convergence Zone, *Geophysical Research Letters*, 29(13), 1643.
- Galvin, C.J. (1968). Breaker Type Classification on Three Laboratory Beaches, *Journal of Geophysical Research*, 73(12), 3651–3659.
- Gerling, T.W. (1992). Partitioning sequences and arrays of directional wave spectra into component wave systems, *Journal of atmospheric and oceanic technology*, 9, 444-458.
- Glickman, T. (2000). *Glossary of Meteorology*. American Meteorological Society, Boston, Second Edition.
- Goodwin, I.D. (2005). A mid-shelf, mean wave direction climatology for southeastern Australia, and its relationship to the El Nino – Southern Oscillation since 1878, *Journal of Climatology*, 25, 1715-1729.

- Goose H., MM. Holland (2005). Mechanisms of decadal Arctic climate variability in the Community Climate System Model, Version 2 (CCSM2), *Journal of Climatology*, 18, 3552-3570.
- Graham, N.E., H.F. Diaz (2001). Evidence for intensification of North Pacific winter cyclones since 1948, *Bull. Am. Met. Soc.*, 82 (9), 1869-1893.
- Groeneweg, J., M. Van Ledden, M. Zijlema (2006). Wave transformation in front of the Dutch Coast in: J.M. Smith (Ed.), *Proc. 30th International Conference on Coastal Engineering*, San Diego, USA, 552-564.
- Gutierrez J.M., R. Cano, A.S. Cofiño, C.M. Sordo (2004). Redes Probabilísticas y Neuronales en las Ciencias Atmosféricas, *Series Monográficas de AEMET*.
- Gulev, S.K., V. Grigorieva (2004). Last century changes in ocean wind wave height from global visual wave data, *Geophysical Research Letters* 1, L24302.
- Hannachi, A., A. O'Neill (2001). Atmospheric multiple equilibria and non-Gaussian behaviour in model simulations. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 127, 939-958.
- Hannachi, A. (2008). A New Set of Orthogonal Patterns in Weather and Climate: Optimally Interpolated Patterns, *Journal of Climate*, 21, 6724-6738.
- Hanson, J.L., Phillips, O.M. (2001). Automated analysis of ocean surface directional wave spectra. *J. Atmos. Ocean. Technol.*, 277-293.
- Hasselmann, K., Coauthors (1973). Measurements of wind-wave growth and swell decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP), *Dtsch. Hydrogr. Z.*, 12, 1-95.
- Hasselmann, S., Coauthors (1988). The WAM model: A third generation ocean wave prediction model, *Journal of Physical Oceanography*, 18, 1775-1810.

- 
- Hastie, T., R. Tibshirani, J. Friedman (2001). *The Elements of Statistical Learning*. Springer, New York.
- Hemer, M.A., J.A. Church, J.R. Hunter (2007). *A wave climatology for the Australian Region*. CSIRO Marine and Atmospheric Research report prepared for the Australian Greenhouse Office, Department of Environment and Water Resources, Australia. 77pp.
- Hemer, M.A., J.A. Church, J.R. Hunter (2010a). Variability and trends in the directional wave climate of the Southern Hemisphere, *International Journal of Climatology*, 30, 475-491.
- Hemer, M.A. (2010). Historical trends in Southern Ocean storminess: Long-term variability of extreme wave heights at Cape Sorell, Tasmania. *Geophys. Res. Lett.*, 37, L18601.
- Henriquez, M. (2005). *Artificial Surf Reefs, Delft, Holland: Delft University of Technology*, Master's thesis, 53p.
- Herman, A., R. Kaiser, H.D. Niemeier (2009). Wind-wave variability in shallow tidal sea. Spectral modelling combined with neural network methods, *Coastal Engineering*, 56, 759-772.
- Holthuijsen, L.H. (2007). *Waves in Oceanic and Coastal Waters*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 387pp.
- Horel, J.D., J.M. Wallace (1981). Planetary-scale atmospheric phenomena associated with Southern Oscillation, *Mon. Weather Rev.*, 109, 813- 829.
- Hurrell, J.W. (1995). Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: Regional temperatures and precipitation, *Science*, 269, 676-679.

- Hurrell, J.W., Y. Kushnir, G. Ottersen, M. Visbeck (2003). An Overview of the North Atlantic Oscillation, Geophysical Monograph, *American Geophysical Union*, 134, 1-35.
- Hurrell, J.W., Y.M.P. Hoerling, A. S. Phillips, T. Xu (2004). Twentieth century North Atlantic climate change, Part I: Assessing determinism, *Climate. Dynamics*, 23, 371-389.
- Hutt, J.A., K.P., Black, S.T., Mead (2001). Classification of surf Research-Based breaks in relation to surfing skill, *Journal of Coastal Research*, Special Issue No. 29, pp. 66-81.
- Izaguirre C., F.J. Méndez, M. Menéndez, A. Luceño, I.J. Losada (2010). Extreme wave climate variability in southern Europe using satellite data, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 115, C04009.
- Jones, P.D., T. Jonsson, D. Wheeler (1997). Extension of the North Atlantic Oscillation using early instrumental pressure observations from Gibraltar and south-west Iceland, *International Journal of Climatology*, 17, 1433-1450.
- Kalra, R., M.C. Deo, R. Kumar, V.K. Agarwal (2005). Artificial neural network to translate offshore satellite wave to data to coastal locations, *Ocean Engineering*, 32, 1917-1932.
- Kennard, R.W., L.A. Stone (1969). Computer aided design experiments. *Technometrics*, 11, 137-148.
- King, D.M., C.J. Baker (1996). Changes to wave parameters in the surf zone due to wind effects, *J. Hydraul. Res.*, 34 (1), 55-76.
- Kinsman, B. (1965). *Wind Waves*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 676 pp.

- 
- Kimball, S.K., M.S. Mulekar (2004). A 15-year climatology of North Atlantic tropical cyclones, part I: Size parameters, *Journal of Climate*, 17, 3555-3575.
- Kimura, A. (1980). Statistical properties of random wave groups, Proc. 17th Int. Conf. Coastal Eng., Sydney (ASCE), pp. 2955–2973.
- Kuik, A.J., G.P., Van Vledder, L.H., Holthuijsen (1988). A method for the routine analysis of pitch-and-roll buoy wave data, *J. Phys. Oceanogr.* 18, 1020 – 1034.
- Lamb H.H. (1972). British Isles weather types and a register of daily sequence of circulation patterns, 1861-1971, *Geophys. Mem.*, 15:116–185.
- Lanagan, D. (2002). Surfing in the third millennium: commodifying the visual argot, *The Australian Journal of Anthropology*. 13(3), 283–91.
- Lazarow, N., M.L. Miller, B. Blackwell, (2007). Dropping in: a case study approach to understanding the socioeconomic impact of recreational surfing and its value to the coastal economy, *Shore and Beach*, 75(4), 21–31.
- Lionello, P., A. Sanna (2005). Mediterranean wave climate variability and its link with NAO and Indian Monsoon, *Climate Dynamics*, 25, 611-623.
- Longuet-Higgins, M.S. (1975). On the joint distribution of periods and amplitudes of sea waves, *J. Geophys. Res.* 80(18), 2688-2694.
- Longuet-Higgins, M.S. (1984). Statistical properties of wave groups in a random sea-state, *Phil. Trans. R. Soc.*, A312, 219-250.
- Luceño, A., M. Menéndez, F.J. Méndez (2006). The effect of temporal dependence on the estimation of the frequency of extreme ocean climate events, *Proceedings of the Royal Society of London, Series A*, 462, 1683-1697.

- Mack, I.D. (2003). *Quantitative Assessment of the Surfability of Pratte's Artificial Surfing Reef Santa Monica Bay, CA*. Los Angeles, California, University of Southern California, Master's thesis, 111p.
- Marshall J., Y. Kushnir, D. Battisti, P. Chang, A. Czaja, R. Dickson, J. Hurrell, M. McCartney, R. Saravanan, M. Visbeck (2001). North Atlantic climate variability: phenomena, impacts and mechanisms, *International Journal of Climatology*, 21, 1863-1898.
- Mead, S.T., K.P., Black, J.A., Hutt (1998). *Application for Resource Consent for a Coastal Structure, Tay Street-Mount Maunganui Beach: Report 1, Reef Design and Physical and Biological Processes*. Hamilton, New Zealand: Centre of Excellence in Coastal Oceanography and Marine Geology, The University of Waikato and NIWA, 119p.
- Mead, S.T., K.P. Black (2001a). Field studies leading to the bathymetric classification of world-class surfing breaks, *Journal of Coastal Research*, Special Issue No. 29, pp. 5-20.
- Mead, S.T., K.P., Black (2001b). Functional component combinations controlling surfing quality at world-class surfing breaks, *Journal of Coastal Research*, Special Issue No. 29, pp. 21-32.
- Mead, S.T., K.P. Black (2001c). Predicting the breaking intensity of surfing waves, *Journal of Coastal Research*, Special Issue No. 29, pp. 51-65.
- Méndez, F.J., M. Menéndez, A. Luceño, I.J. Losada (2006). Estimation of the long-term variability of extreme significant wave height using a time-dependent POT model, *Journal of Geophysical Research*, 111, C07024, doi:10.1029/2005JC003344.
- Menéndez, M., F.J. Méndez, I.J. Losada, N.E. Graham (2008). Variability of extreme wave heights in the northeast Pacific Ocean based on buoy measurements, *Geophysical Research Letters*, 35, L22607.

- 
- Minguez, R., A. Espejo, A. Tomás, F. J. Méndez, I. J. Losada (2011). Directional Calibration of Wave Reanalysis Databases using Instrumental Data, *Journal of Atmospheric and Oceanic Research*, doi: 10.1175/JTECH-D-11-00008.1
- Munk, W.H., Miller, G.R. Snodgrass, F.E. Barber (1963). Directional recording of swell from distant storms, *Philos. Trans. R. Soc. London*, A255, 505-584.
- Murphy, M., M. Bernal (2008). *Impact of Surfing in the local economy of Mundaka, Spain*. Save the Waves Coalition Report.
- Nelsen, C., P. Howd (1996). Surf as coastal resource: the wave of the future, *Geotimes*, December, pp. 19-22.
- Nelsen, C., L. Pendleton, R. Vaughn (2007). A socioeconomic study of surfers at Trestles Beach, *Shore and Beach*, 75(4), 32-37.
- Pattiarachi, C. (1997). Design studies for an artificial surfing reef at Cable Station, Western Australia. *Proceedings for the 1st International Surfing Reef Symposium*, (Sidney, Australia), pp. 87-90.
- Peña, J.M., J.A. Lozano, y P. Larrañaga (1999). An empirical comparison of four initialization methods for the k-means algorithm, *Pattern Recognit. Lett.*, 20, 1027-1040.
- Pellon, J. (2009). *La guía de surf de España*. Editorial Everest.
- Pierson, W.J., L. Moskowitz (1964). A proposed spectral form for fully developed wind seas based on the similarity theory of S. A. Kitaigorodskii, *J. Geophys. Res.*, 69, 5181-5190.
- Polinsky, A., R.D. Feinstein, S. Shi, A. Kuki (1996). Librain: Software for automated design of exploratory and targeted combinatorial libraries. *Molecular Diversity*



- and Combinatorial Chemistry: Libraries and Drug Discovery (I.M. Chaiken and K.D.Janda, eds.), *American Chemical Society*, Washington, D.C., pp. 219-232.
- Power, S., T. Casey, C. Folland, A. Colman, V. Mehta (1999). Inter-decadal modulation of the impact of ENSO on Australia, *Climate Dynamics*, 15(5), 319–324.
- Pratte, T.P., J.R., Walker, P.E., Gadd, C.B., Leidersdorf (1989). A new wave on the horizon: towards building surfing reefs near-shore, *Proc. for Coastal Zone '89* (Charleston, South Carolina), pp. 3403–3411.
- Ranasinghe, R., R. McLoughlin, A. Short, G. Symonds (2004). The Southern Oscillation Index, wave climate and beach rotation, *Marine Geology*, 200 273-287.
- Rice, S.O. (1945). Mathematical analysis of random noises, *Selected Papers on Noise and Stochastic Processes* (Donver Pub., 1954), pp. 132-294.
- Rippa, S. (1999). An algorithm for selecting a good value for the parameter  $c$  in radial basis function interpolation, *Adv. Comput. Math.* 11, 193-210.
- Rogers, W.E., J.M. Kaihatu, N. Booij, L.H. Holtthuijsen (1999). *Improving the numerics of the third-generation wave action model*, Naval Research Laboratory, Report Number 7320-99-9695.
- Saji N.H., B.N. Goswami, P.N. Vinayachandran, T. Yamagata (1999). A dipole mode in the tropical Indian Ocean, *Nature* 401:360–363
- Salinger, M.J., J.A. Renwick, A.B. Mullan (2001). Interdecadal Pacific Oscillation and South Pacific climate, *International Journal of Climatology*, 21 (14), 1705-1721.
- Sasaki, W., T. Hibiya (2007). Interannual variability of summertime significant wave heights in the western north Pacific, *Journal of Oceanography*, 63, 203-213.

- Sayce, A.J. (1997). *Transformation of Surfing Waves on Steep and Complex Reefs*, Hamilton, New Zealand: University of Waikato, Master's thesis, 158p.
- Sayce, A.J., K.P. Black, R. Gorman (1999). Breaking wave shape on surfing reefs, *Proceeding of Coasts and Ports Conference '99* (Perth, Australia), vol. 2, pp. 596–603.
- Scarfe, B.E., M.H.S. Elwany, S.T. Mead, K.P. Black (2003). The science of surfing waves and surfing breaks: a review, *Artificial Surfing Reefs 2003: The 3rd International Conference* (Raglan, New Zealand), CD-ROM, pp. 37–59.
- Scarfe, B.E. (2008). *Oceanographic Considerations for the Management and Protection of Surfing Breaks*, Hamilton, New Zealand: The University of Waikato, Ph.D. thesis, 307p.
- Schrope, M. (2006). Oceanography: creating the perfect wave, *Nature*, 444(7122), 997–999.
- Serreze, M.C., J.E. Walsh, F.S. Chapin, T. Ostercamp, M. Dyrugerov, V. Romanovsky, W.C. Oechel, J. Morison, T. Zhang, R.G. Barry (2000): Observational evidence of recent change in the northern high-latitude environment, *Climate Change*, 46, 159-207.
- Shyu, J.H., O.M. Phillips (1990). The blockage of gravity and capillary waves by longer waves and currents, *Journal of Fluid Mechanism*, 217, 115–141.
- Snodgrass, F.E., G.W. Groves, K. Hasselmann, G. R. Miller, W. H. Munk, W. H. Powers (1966). Propagation of ocean swells across the Pacific, *Phil. Trans. Roy. Soc. London*, A249, 431–497.
- Solomon, S., D. Qin, M. Manning; Z. Chen; M. Marquis, K. Averyt, M. Tignor, H. Miller (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, U.K., 996pp., ISBN 978-0-521-88009-1.

- Sutherland, B. (2006). *The Stormrider Guide Europe; The Continent*, Low Pressure Ltd. British Library.
- Stansby, P., J. Zhou, C. Kuang, M. Walkden, J. Hall, M. Dickson (2006). Long-term prediction of nearshore wave climate with an application to cliff erosion, *Proc. of International Conference Coastal Engineering*, San Diego.
- Thompson, D.W.J., J.M. Wallace (1998). The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields, *Geophysics Research Letters* 25: 1297–1300.
- Thompson, D.W.J., J.M. Wallace (2000). Annular modes in the extratropical circulation. Part I: Month to month variability, *Journal of Climate*, 13, 1000–1016.
- Trenberth K.E., T.J. Hoar (1997). El Nino and climate change, *Geophysical Research Letters* 24(23), 3057–3060.
- Trenberth, K. (2005). Uncertainty in hurricanes and global warming, *Science*, 308, 1753–1754.
- Trenberth, K.E., Shea D.J. (2006). Atlantic hurricanes and natural variability in 2005, *Geophysical research letters*, 33, L12704.
- Ummenhofer, C.C., A.Sen Gupta, M.H. England, C.J.C. Reason (2009). Contributions of Indian Ocean sea surface temperatures to enhanced East African rainfall, *Journal of Climate*, 22 (4), 993– 1013.
- Young, I.R. (1999). Seasonal variability of the global ocean wind and wave climate, *Int. Journal of Climatology*, 19 (9): 931-950.
- van Dorn, W. (1994). *Oceanography and Seamanship*, Cornell Maritime Press, Second Edition.

- Visbeck, M., E.P. Chassignet, R.G. Curry, T.L. Delworth, R.R., Dickson, G. Krahnmann (2003). The Ocean's Response to North Atlantic Oscillation Variability in the North Atlantic Oscillation: Climatic Significance and Environmental Impact, *Geophysical Monograph* 134, AGU, 113-145.
- von Storch, H. (1997). Conditional statistical models: A discourse about the local scale in climate modelling. *Monte Carlo Simulations in Oceanography, Proc. 'Aha Huliko'a Hawaiian Winter Workshop*, Manoa, HI, University of Hawaii, 58-59.
- Wallace, J.M., D.S. Gutzler (1981). Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter, *Monthly Weather Review*, 109, 784-812.
- Wallace, J.M., D.W.J. Thompson (2002). The Pacific Center of Action of the Northern Hemisphere Annular Mode: Real or Artifact? *Journal of Climate*, 15, 1987-1991.
- Walker, J.R., R.Q. Palmer (1971). Surf Parameters; a General Surf Site Concept. Honolulu, Hawaii: Department of Ocean Engineering, University of Hawaii, *LOOK Laboratory Technical Report* No. 18, 48p.
- Walker, J.R., R.Q. Palmer, J.K. Kukea (1972). Recreational surfing on Hawaiian reefs, *Proceedings of the 13th Coastal Engineering Conference* (Vancouver, British Columbia, Canada, ASCE 0-87262-049-2), pp. 2609-2628.
- Walker, J.R. (1974a). *Recreational Surfing Parameters*, Honolulu, Hawaii: University of Hawaii, Department of Ocean Engineering, *LOOK Laboratory Technical Report* 30, 311p.
- Walker, J.R. (1974b). *Wave Transformations over a Sloping Bottom and over a Three-Dimensional Shoa*, Honolulu, Hawaii: University of Hawaii, Ph.D. thesis, 138p.
- Willet, P. (1996). Molecular diversity techniques for chemical databases, *Information Research*, Vol.2, No. 3.

Woolf D.K., P.G. Challenor, P.D. Cotton (2002). Variability and predictability of the North Atlantic wave climate, *Journal of Geophysical Research*, 107(C10), 3145.

