

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 6

# ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LAS CONDICIONES DE SURF EN EL GLOBO



## 6.1. Introducción

En la actualidad existe una alta demanda de información acerca de cuándo y donde ocurren condiciones surfeables en el mundo. La gran capacidad que tiene el ser humano de transportarse a lugares remotos del planeta, hace que cada día sea más frecuente que el surfista medio realice viajes intercontinentales en busca de buenas condiciones de surf, lo que se conoce como turismo internacional de surf. En este sentido, existen localidades remotas que han alcanzado un alto nivel de desarrollo económico gracias al turismo del surf (ver Capítulo 1), las cuales son las primeras interesadas en conocer la disponibilidad temporal de un recurso claramente explotable. Además de para el surfista de a pie, o los gestores de las localidades donde el surf es importante, los operadores turísticos necesitan disponer de una información muy valiosa, que mejora sustancialmente el servicio ofrecido a sus clientes.

Como se vio en el Capítulo 2, existen en la literatura científica un gran número de trabajos que analizan globalmente el clima marítimo. Desde el punto de vista del surfista, quizás sean aquellos trabajos que diferencian entre los regímenes *sea* y *swell*, los más interesantes. Sin embargo, a partir de esta información resulta difícil estimar el tiempo en el que es posible practicar surf en un lugar determinado.

A pesar de la importancia del clima (atmosférico y marítimo) para esta actividad, no se han encontrado investigaciones encaminadas a establecer relaciones entre el clima y la duración y calidad de las condiciones de surf, por lo que la vulnerabilidad de este sector respecto a la actual variabilidad climática y al cambio climático en el largo plazo no ha sido adecuadamente evaluada.

Al tratarse de un problema planteado a escala global, no solo han de intervenir las variables relativas al oleaje. Además, factores como la sensación térmica esperada, las características de la marea, o las horas de luz en cada costa del planeta, son también elementos que condicionan, en la práctica, la probabilidad de ocurrencia de condiciones de surf.

Este capítulo se ha estructurado en nueve apartados. En el apartado 6.2 se describe la metodología empleada para estimar las condiciones de surf en el globo. En el apartado 6.3. se muestran las bases de datos. En el apartado 6.4. se analiza la ocurrencia de estados de mar *groundswell* y *windswell*; los resultados obtenidos sirven para obtener una visión preliminar de la distribución global de las condiciones de surf. En el apartado 6.5 se realiza el análisis de las condiciones medias anuales y estacionales calculadas en base a los subíndices descritos en el Capítulo 4. En este apartado se ha incluido la validación de los datos de partida. La validación de los criterios propuestos tiene lugar en el apartado 6.6. En el epígrafe 6.7 se realiza un análisis de la variabilidad interanual de la disponibilidad de condiciones de surf de alta calidad. El apartado 6.8 se dedica al análisis histórico de las tendencias observadas. Por último, en el apartado 6.9 se plantean las conclusiones obtenidas en este capítulo.

## 6.2. Metodología

En la figura 6.1 se muestra un esquema general de la metodología empleada para la evaluación global del recurso surf. Esta evaluación está centrada en aquellos elementos climáticos o de origen planetario (mareas y duración del día) con variabilidad espacial o temporal, dejando de lado la caracterización de los elementos batimétricos, y asumiendo una costa tipo.

La metodología parte de la identificación de los factores más relevantes que un surfista medio puede considerar para elegir un destino de surf. Éstos se evalúan por medio de los diferentes subíndices descritos en el Capítulo 5, que se integran en un índice denominado *Global Surf Index*. Las variables consideradas (tabla 6.1) se combinan en tres subíndices que se integran en el GSI:

$$GSI = I_{cs} \cdot I_c \cdot I_e \tag{6.1}$$

La evaluación se realiza en aquellos puntos de la malla global del reanálisis GOW 1.0 (*Global Ocean Waves*, IH Cantabria) más cercanos a costa, donde son interpoladas el resto de variables. Debido a deficiencias inherentes al modelado numérico del oleaje, los datos

ofrecidos por el reanálisis han de ser calibrados previamente. Para mejorar al máximo la calidad de los datos, se ha optado por utilizar una metodología de calibración direccional (Mínguez *et al.*, 2011). Esta metodología se expone detalladamente en el Capítulo 7.

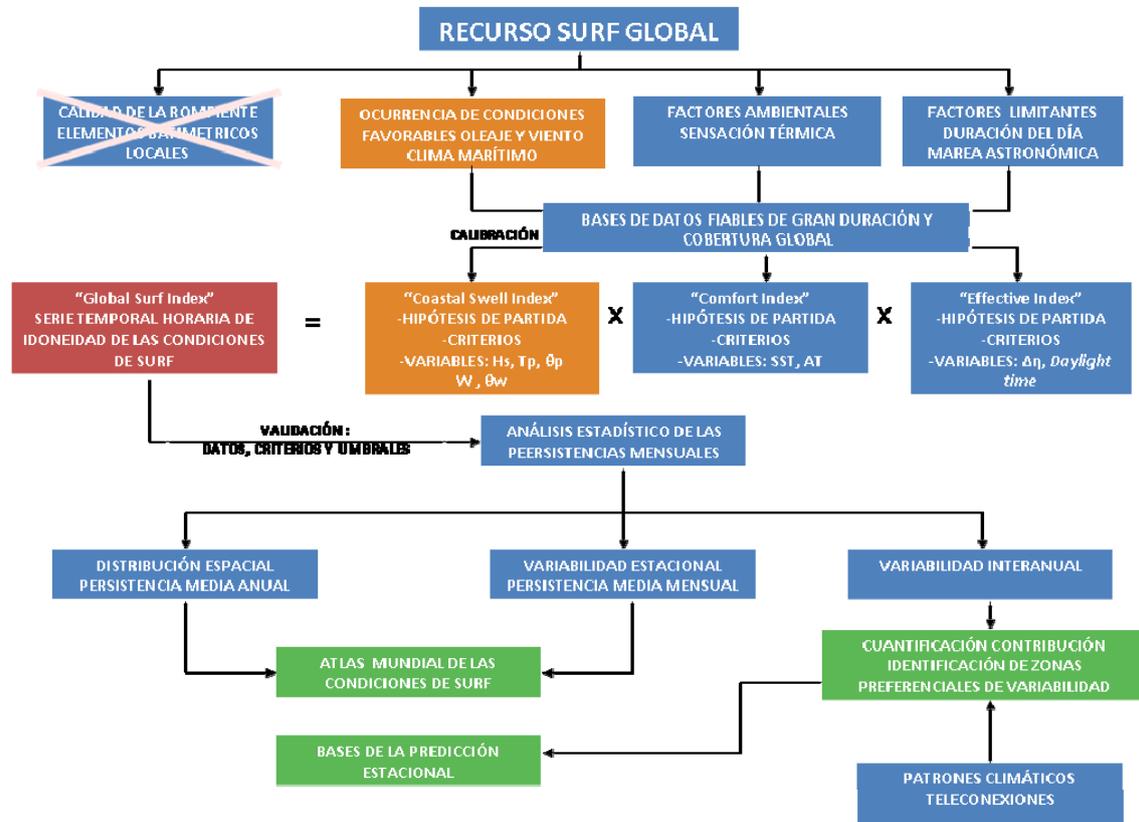


Figura 6.1. Esquema general de la metodología utilizada en la evaluación global de las condiciones de surf.

Así, la metodología propuesta para evaluar globalmente el recurso surf, puede ser resumida en los siguientes pasos:

- a) Identificación de los factores más relevantes que condicionan el turismo internacional del surf.
- b) Análisis de las bases de datos disponibles y elección de las variables meteorológicas más apropiadas para caracterizar las condiciones de surf.
- c) Análisis de la calidad de las bases de datos (validación) y corrección (calibración) de los posibles errores que puedan afectar a la estima de la ocurrencia de condiciones de surf. Calibración de los datos de reanálisis en

profundidades indefinidas en base a datos de altimetría satelital, por ser el oleaje el factor más condicionante.

- d) Definición de criterios y rangos que evalúen la idoneidad de las condiciones de surf (Capítulo 5).
- e) Cálculo de  $I_{cs}$  con el oleaje propagado (Snell) a una profundidad de 25 m frente a cada tramo de costa considerado, y validación de las series obtenidas en base a  $I_{cs}$  calculado con datos instrumentales (boyas).
- f) Agregación del resto de subíndices y cálculo del GSI horario. Validación de los criterios empleados.
- g) Análisis histórico de las condiciones de surf, distribución espacial, climatología, variaciones interanuales y tendencias.

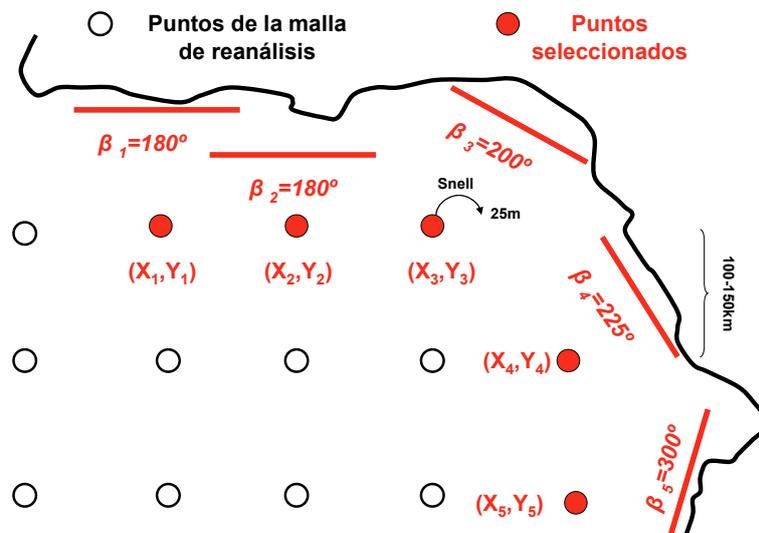


Figura 6.2. Esquema de la metodología planteada.

En la figura 6.2 se muestra el esquema espacial para mejorar la estima del oleaje que es susceptible de incidir en cada tramo de costa considerado. En ella se han representado los nodos de la malla de reanálisis, siendo los de color rojo, los seleccionados para el cálculo del  $I_{cs}$  en base a las series temporales de oleaje calibradas. Los segmentos rojos indican la orientación media asignada a cada tramo de costa. El resto de variables consideradas (temperatura, nivel del mar) son interpoladas en la posición de los puntos de interés.

El esquema metodológico que se propone, está condicionado por la resolución espacial del reanálisis de oleaje utilizado, ya que es el oleaje el principal factor en la disponibilidad del recurso surf. Así, las series temporales de  $I_{cs}$  obtenidas mediante datos simulados, han de ser validadas frente a series temporales de  $I_{cs}$  calculadas en base a datos instrumentales. La resolución espacial de la malla global ( $1^\circ \times 1.5^\circ$ ), obliga a considerar la orientación media de la costa en tramos que varían entre 100 y 150 km. La orientación azimutal asignada a cada tramo, rige la fracción de energía presente en profundidades indefinidas que es capaz de incidir finalmente en la costa y la idoneidad direccional del viento.

Para analizar los patrones de distribución espacial y temporal de las condiciones de surf, se ha optado por analizar la probabilidad de ocurrencia mensual de condiciones de calidad intermedia,  $P_{medium}$  y calidad alta  $P_{high}$ . Distinguir entre dos clases de calidad es necesario para caracterizar en su totalidad el recurso. La amplia diversidad de formas batimétricas y topográficas que se dan a escala de rompiente, junto al amplio espectro de situaciones posibles de oleaje y viento hace que estados de mar de aparentemente baja calidad,  $5 \leq GSI < 7$ , puedan generar localmente condiciones de surf excelentes.

Aunque los sistemas de calificación empleados para evaluar cada variable pueden contener connotaciones subjetivas, el GSI ofrece un método estandarizado para estimar sistemáticamente el recurso surf en todo el mundo, usando una escala claramente interpretable. El GSI puede oscilar entre 0 y 10, valores inferiores a 5 indican una probabilidad nula o muy pequeña de que se produzcan condiciones de surf (condiciones de mala calidad), de 5 a 7 indican una probabilidad media (condiciones de calidad media), y valores superiores a 7 indican una probabilidad alta (condiciones de calidad alta)

Para la correcta aplicación del *Coastal Swell Index* en profundidades indefinidas han de asumirse las siguientes hipótesis de partida:

- El principal factor diferenciador de la energía del oleaje incidente en un tramo costero es la orientación del mismo respecto a la dirección de propagación del estado de mar.
- En un tramo de costa con una orientación media determinada, es posible encontrar rompientes giradas respecto a esta dirección  $\pm 90^\circ$ , lo cual condiciona el criterio de viento aplicable.
- La mayor parte de la energía de un estado de mar se propaga asociada al periodo y dirección de pico.

### 6.3. Bases de datos

El carácter global del problema planteado condiciona las posibles bases de datos a utilizar en este trabajo. El GSI integra un total de nueve variables que describen los factores mencionados, estas son: parámetros espectrales del oleaje con resolución horaria ( $H_s$ ,  $T_p$ ,  $\theta_p$ ) procedentes del reanálisis de oleaje GOW 1.0, velocidad y dirección del viento a 10m de altura ( $W$  y  $\theta_w$ ) cada 6 horas procedentes del reanálisis atmosférico NCEP/NCAR, nivel del mar horario ( $\eta$ ) procedente del modelo TPXO7, temperatura superficial del agua (SST) con una resolución mensual, procedente de la NOAA, temperatura superficial del aire (ST) procedente del CRU (*Climatic Research Unit*) y duración del día, ( $D$ ), calculada en función de la latitud y época del año. En la tabla 6.1 se muestran los tres subíndices empleados en la evaluación global, las variables que intervienen en cada uno de ellos, las fuentes de datos consultadas y su contribución relativa al GSI.

Además de las bases de datos expuestas en la tabla 6.1, han sido utilizados datos de boyas y altimetría satelital, para corregir las posibles deficiencias del modelo GOW 1.0. Las bases de datos empleadas se describen brevemente a continuación, una descripción más detallada de todas ellas puede ser encontrada en el Capítulo 3.

Subíndice	Variables	Dominio temporal	$\Delta t$	Escala	Fuente
<i>Coastal Swell index, Ics</i>	$H_s, T_p, \theta_p$ $W, \theta_w$	1948-2008	1 hora 6 horas	0-10	GOW 1.0 NCEP/NCAR
<i>Comfort index, Ic</i>	$SST, ST$	1900-2008	1 mes	0.5-1	ERSST v3b, HadCRUT3
<i>Effective index, Ie</i>	$D, \eta$	--	1 hora	0-1	TPX07

Tabla 6.1. Subíndices que conforman el GSI y bases de datos utilizadas.

### 6.3.1. Reanálisis atmosférico, viento

A partir del reanálisis atmosférico global NCEP/NCAR (Kalnay *et al.*, 1996,) se obtienen los vientos que se utilizan como forzamientos para generar los campos de oleaje y evaluar posteriormente las condiciones de surf. Estos vientos han sido modelados a una resolución de  $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ , la cual resulta más que suficiente para la correcta generación de oleaje en mar abierto en latitudes altas. Sin embargo, los vientos NCEP/NCAR no resuelven rigurosamente cierto tipo de fenómenos generadores de oleaje como los huracanes o tormentas tropicales (ver Capítulo 4).

Respecto a la evaluación de la idoneidad del viento para el surf, el criterio propuesto ha sido diseñado considerando las características de la base de datos de partida. Los dos inconvenientes que esta presenta son:

- No resuelve la modificación en los campos de vientos inducidas por la orografía local.
- No resuelve correctamente la variabilidad de alta frecuencia en dirección e intensidad del viento inducido por las diferencias de temperatura entre el mar y la tierra (vientos térmicos o brisas).

### 6.3.2. Reanálisis de oleaje

El reanálisis de oleaje utilizado en este trabajo es el GOW 1.0 (*Global Ocean Waves 1.0*) de IH Cantabria. Se trata de un reanálisis horario en el periodo 1948-2008 con cobertura global de ( $1^\circ \times 1.5^\circ$ ). El forzamiento proviene del reanálisis atmosférico de NCEP/NCAR. El modelo numérico utilizado para la generación de los campos de oleaje ha sido el modelo *Wave Watch III* (Tolman 1997, 1999).

A pesar de las deficiencias encontradas en el modelado de tormentas y ciclones tropicales, durante eventos de este tipo, se registran incrementos en la altura de ola que generan eventos surfeables en latitudes bajas. Esta deficiencia es subsanada mediante el método de calibración utilizado. Aun así, debido a que la calibración es solo aplicada a la variable  $H_s$ , ante situaciones ciclónicas intensas en aguas tropicales y ecuatoriales, es esperable una infravaloración en la estima de la ocurrencia de condiciones de surf, ocasionada por la infravaloración en el  $T_p$ , y las deficiencias en la direccionalidad del viento en tramos de costas cercanos.

### 6.3.3. Datos remotos de oleaje, satélites

Como se comentó en el Capítulo 4, la única fuente de información instrumental que permite obtener información global de oleaje, es la procedente de los satélites, que de forma remota (con órbitas del orden de los 1000 km por encima de la superficie terrestre) consiguen determinar parámetros del oleaje como  $H_s$ , con errores similares a los de las boyas (Caires y Sterl, 2003). Debido a la resolución espacio-temporal de este tipo de datos, han sido usados como complemento (calibración) para mejorar la calidad del reanálisis de oleaje.

### 6.3.4. Datos históricos de oleaje, boyas

Las boyas son el instrumento de medida de oleaje *in-situ* más extendido, pues proporcionan la información más completa y fiable en una posición fija. En este capítulo, esta fuente de información ha sido empleada para validar la tasa de ocurrencia

de condiciones de surf, en diferentes localizaciones. Las boyas empleadas se muestran en la figura 6.8 y figura 6.9, estas pertenecen al Organismo Público Puertos del Estado (OPPE) y a la NOAA .

### 6.3.5. Datos de nivel del mar, modelo numérico

El TPOX7 es un modelo de marea astronómica global, de resolución  $1/4^\circ \times 1/4^\circ$  desarrollado en *Oregon State University*. Este modelo ha sido empleado para conocer las variaciones deterministas del nivel del mar en cualquier punto del globo.

### 6.3.6. Datos de temperatura del aire y del mar

Las bases de datos utilizadas para analizar el efecto de la temperatura en la distribución espaciotemporal del recurso surf han sido la HadCRUT3 de la CRU y la ERSST v3b de la NOAA. A pesar de que en las zonas cercanas al océano, la temperatura del aire se aproxima a la de la superficie del mar, el emplear dos bases de datos suficientemente contrastadas mejora la estima de la temperatura mensual en los puntos analizados.

## 6.4. Análisis de la ocurrencia de estados de mar tipo *groundswell* y *windswell*

En el ámbito del surf existen dos categorías básicas de oleaje cuya distinción se basa en el grado de organización del mismo: *windswells* y *groundswells* (ver Capítulo 2). Previo al análisis específico de las condiciones de surf en el globo se ha analizado la probabilidad de ocurrencia de cada uno de estas categorías. Este análisis puede ofrecer una idea aproximada acerca de la distribución de las condiciones de surf. En el mundo del surf se suele hacer distinción entre estados de mar surfeables y estados de mar ideales para el surf. En términos generales, los estados de mar meramente surfeables suelen disponer de la energía mínima necesaria ( $H_s \geq 1$  m) y un grado de organización también mínimo ( $T_p \geq 7$ ). A estos estados de mar se les suele denominar *windswells*, pues frecuentemente provienen de zonas de generación relativamente cercanas, o de vientos no

suficientemente intensos, como es el caso de los ciclones y los vientos alisios respectivamente. Estados de mar tipo *windswell* son también frecuentes durante el paso de tormentas cercanas a la zona de surf, y trascurrido un tiempo tras la atenuación o desaparición de los vientos generadores sobre el *fetch* propio, ya que debido a la dispersión radial, las componentes de periodo bajo viajan más lentamente que las de periodo alto, llegando por tanto después a la costa.



Figura 6.3. *Groundswell* en Tasmania, Australia.

Se define un estado de mar tipo *groundswell* como aquel oleaje que, tras haber sentido el fondo, ha adquirido un grado de organización tal que los frentes se propagan paralelos unos a los otros. En el ámbito del surf, por similitud en la estructura del oleaje, se entiende por *groundswell* aquel oleaje con una energía mínima ( $H_s \geq 1$  m), y un grado de organización elevado ( $T_p \geq 10$  s), umbral propuesto por Kinsman (1965), para la distinción entre mar de viento y mar de fondo. Estados de mar tipo *groundswell* necesitan de fuentes generadoras con vientos intensos y persistentes, además de una distancia mínima de propagación para que el oleaje pueda filtrarse y agruparse mediante los fenómenos de dispersión radial y angular e interacciones no lineales onda a onda. En la figura 6.4 se muestran los histogramas de  $P[T_p (H_s \geq 1)]$  de obtenidos en un punto del Cantábrico, California, la costa este de Australia e Indonesia, las barras de color rojo indican la probabilidad de *seas* con  $H_s \geq 1$ , las de color amarillo la probabilidad de

*windswells* y las de color verde *groundswell*. Nótese como los *groundswells* son mucho más frecuentes en las costas orientadas al oeste del Pacífico y del Índico.

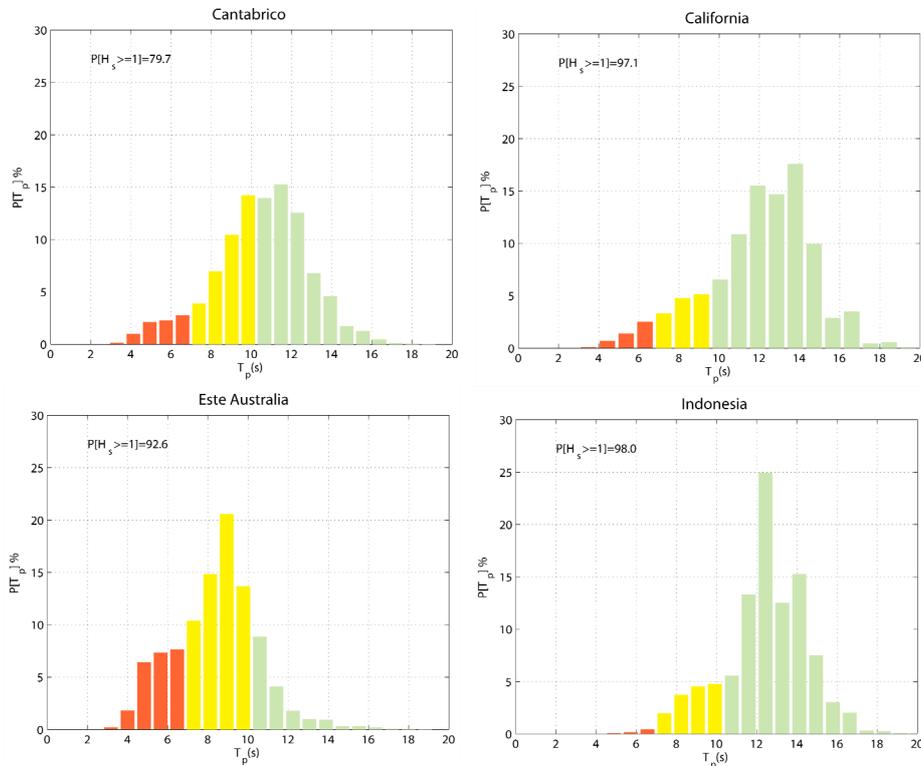


Figura 6.4. Histogramas de  $P[T_p(H_s \geq 1)]$ , en diferentes localizaciones.

Los resultados muestran una alta concordancia con los obtenidos por Chen *et al.* (2002). Nótese como a partir de los valores medios de  $H_s$  no puede ser inferida la probabilidad de ocurrencia de un estado de mar surfeable tipo *groundswell*. La alta variabilidad de  $H_s$  en lugares como el Atlántico Norte en relación a la menor variabilidad ocurrida en la cuenca occidental del Océano Índico (donde  $H_s \approx \bar{H}_s$ ), confieren a esta última una mayor ocurrencia de oleajes surfeables. Por el contrario, las costas tropicales y ecuatoriales del lado este de los continentes, a pesar de presentar valores altos de altura de ola ( $\bar{H}_s \approx 2$  m), presentan una baja probabilidad de ocurrencia de estados de mar desarrollados, siendo los tipo *windswells*, los que permiten la generación ocasional de condiciones surfeables.

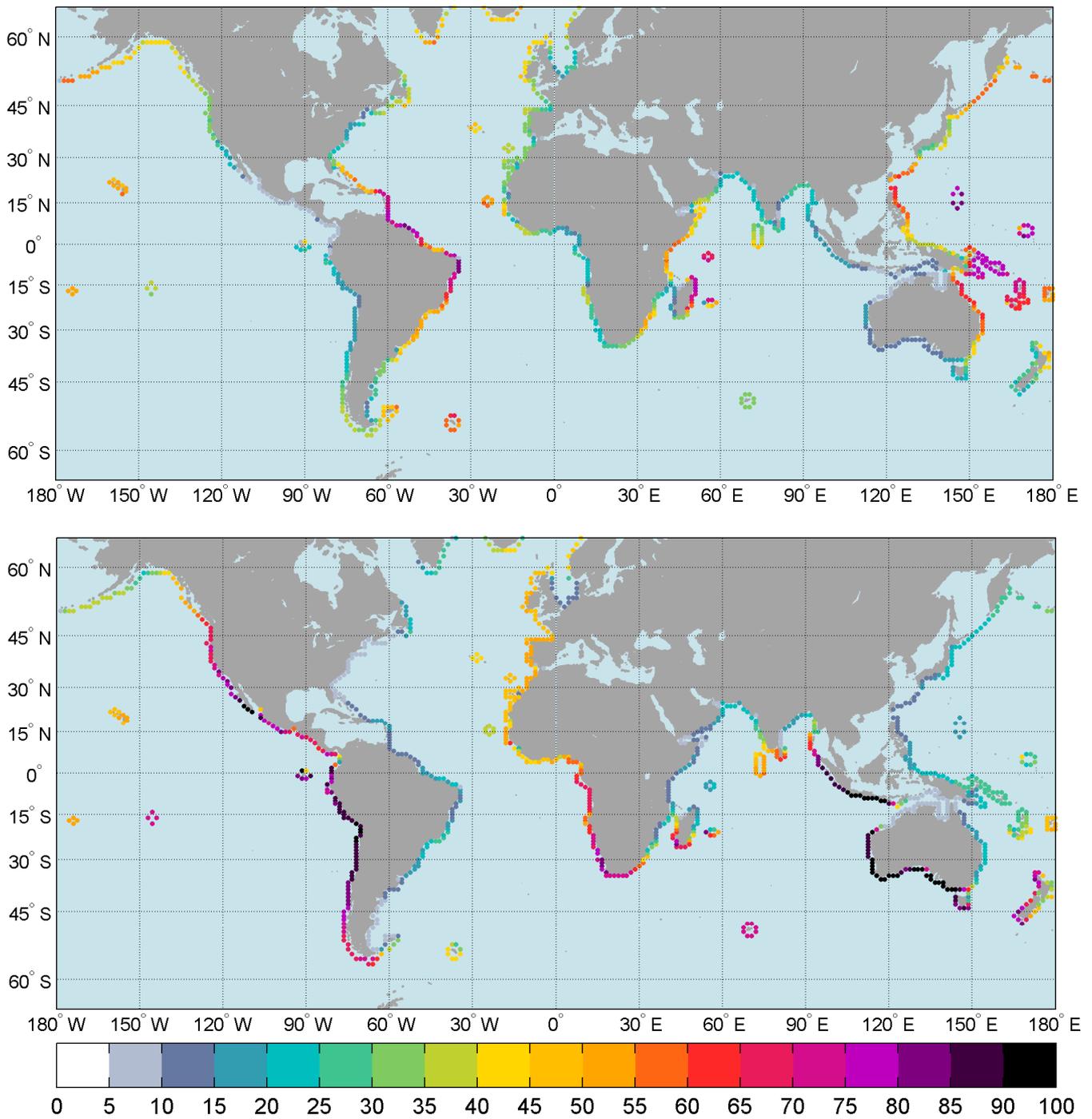


Figura 6.5. Distribución espacial de la probabilidad de ocurrencia media anual de estados de mar tipo *windswell* (panel superior) y *groundswell* (panel inferior).

Conviene aclarar que un estado de mar puede estar compuesto por dos o más picos de energía, así, la distinción entre ambos tipos obedece al porcentaje máximo de energía correspondiente a cada uno de ellos. Por lo tanto, el que una determinada zona presente una alta ocurrencia de estados de mar tipo *groundswell*, no significa que la ocurrencia de

*windswells* sea poco probable, simplemente que el mayor porcentaje de los estados de mar presentan su máximo de energía espectral en componentes frecuenciales bajas.

En la figura 6.5 se muestra la persistencia media anual de estados de mar tipo *windswell* y *groundswell*, la barra de colores indica el porcentaje de tiempo medio anual en el que se dan uno u otro tipo de estados de mar. De esta figura se extraen las siguientes conclusiones que son relevantes para la distribución espacial del recurso surf:

- Los estados de mar *groundswell*, son más frecuentes en el Hemisferio Sur que en el Norte. La tasa de ocurrencia máxima observada en el Hemisferio Sur ronda el 90% mientras que en el Hemisferio Norte no se supera el 50%, excepto en la costa Pacífica norte y centroamericana.
- Los estados de mar tipo *groundswell* son más persistentes en la vertiente oeste de los continentes, mientras que los estados de mar tipo *windswell* lo son en la este. El valor máximo observado en las costas orientadas al este no supera el 15%, mientras que en las oeste se supera el 90%. De las costas orientadas al este son: Filipinas, Nueva Guinea y el este de Australia las que mayor porcentaje de mares tipo *groundswell* registran (25-30%).
- Los *groundswells* son más frecuentes entre las latitudes  $45^{\circ} N$  y  $45^{\circ} S$  mientras que los *windswells* lo son entre las latitudes  $20^{\circ} N$  y  $20^{\circ} S$ . Esto es debido a que en términos absolutos el 90% de los estados de mar tipo *windswell* son generados por los vientos de componente este que soplan entre la zona de altas presiones subtropicales y bajas ecuatoriales. Estos vientos, no muy intensos, soplan persistentemente en dirección este-nordeste (Hemisferio Norte) y este-sudeste (Hemisferio Sur) generando oleajes que rara vez superan los 3 m de  $H_s$  y los 10 s de  $T_p$ . Debido al elevado peralte de los oleajes de bajo periodo, su capacidad de propagación es menor, por eso no son dominantes en latitudes superiores a las indicadas. La alta probabilidad de estados de mar *groundswell* observada en latitudes ecuatoriales es debido a la alta capacidad de propagación de este tipo de estados de mar. Esta cualidad hace que sea posible la incidencia en California de *groundswells* generados al sur de Australia.

- En costas de latitudes altas orientadas al este ( $25^{\circ}$ – $45^{\circ}$  N-S) dominan las condiciones de calma. Son zonas donde la ocurrencia de oleajes de  $H_s \geq 1$  m es poco probable. El oleaje es muy limitado y de carácter ocasional en zonas como Argentina, Uruguay y sur de Brasil. Desde la bahía de Hudson hasta Carolina del Sur en la costa este de Estados Unidos y desde Japón hasta la península de Kamchatka en la cara este del continente Euroasiático.
- Indonesia, Australia, México, Chile y Perú son los países que mayor disponibilidad de estados de mar tipo *groundswell* presentan, con una probabilidad media anual superior al 85%.
- De Florida a Río Grande do Norte (Brasil), Madagascar, las Islas Salomón y la cara este de Australia son las zonas que mayor porcentaje de estados de mar tipo *windswell* reciben, con valores medios anuales del 50 al 80%.

#### 6.4.1. Variabilidad estacional de los estados de mar tipo *groundswell* y *windswell*

En cuanto la variabilidad estacional de ambas tipologías de estados de mar, se muestra en la figura 6.6 la probabilidad media mensual de los estados de mar tipo *groundswell*. Del análisis de esta figura se obtienen las siguientes conclusiones:

- Los estados de mar tipo *groundswell* son más frecuentes durante los inviernos respectivos en cada hemisferio.
- Las zonas que mayor tasa de ocurrencia estacional de *groundswells* presentan son, el suroeste de Indonesia (de Java a Sumba) y las vertientes oeste y sur del continente australiano, con valores máximos mensuales del 98% durante el invierno austral.

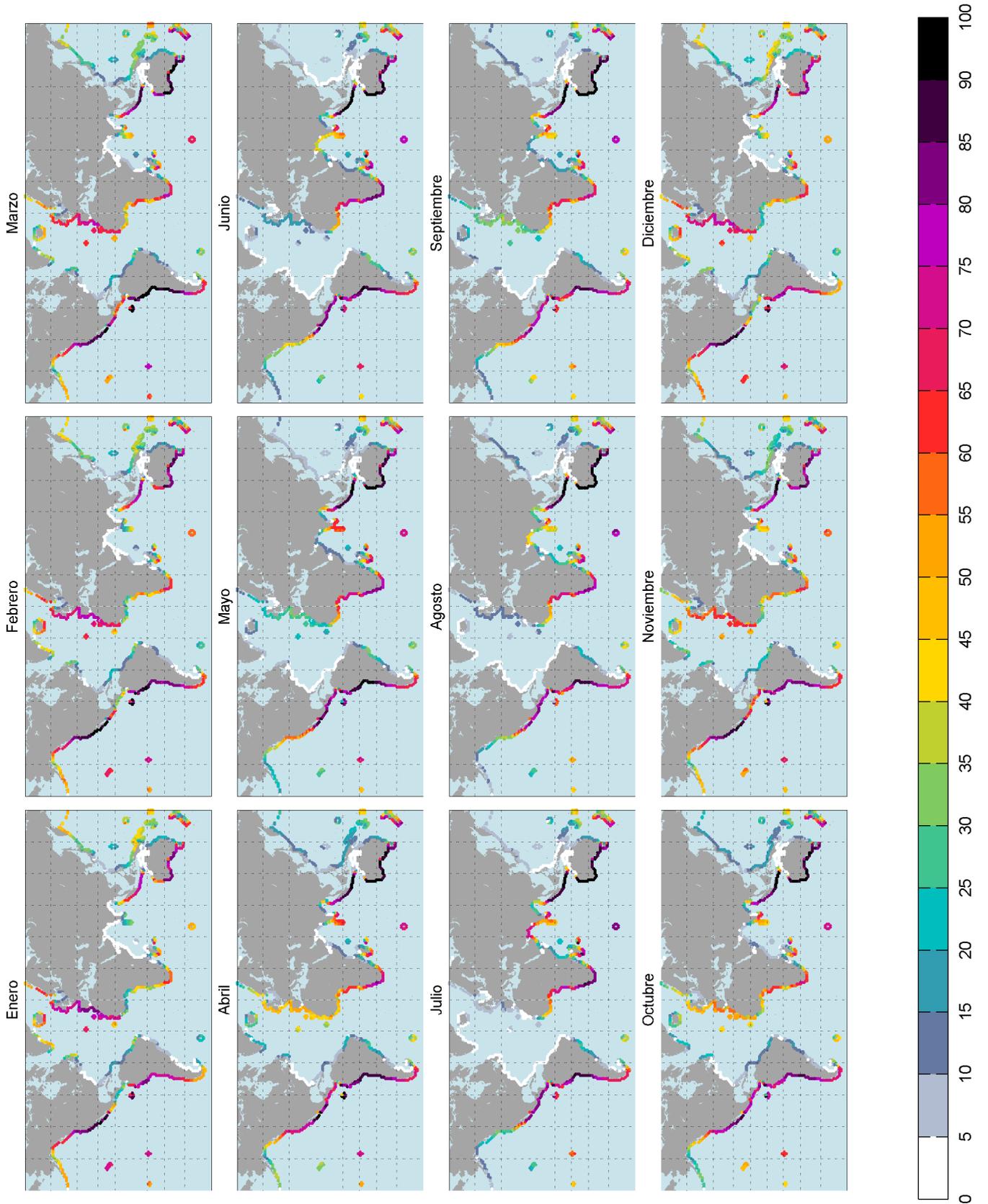


Figura 6.6. Probabilidad de ocurrencia mensual de estados de mar tipo *groundswell*.

- La variabilidad en la probabilidad de ocurrencia de mares de fondo en el Hemisferio Norte es muy elevada, especialmente en el Atlántico (de un 10% en Julio a un 70% en Diciembre). La variabilidad en el Hemisferio Sur es notablemente menor (Young, 1999), siendo probable la ocurrencia de este tipo de oleajes durante cualquier época del año.
- El patrón estacional de *groundswells* en el Pacífico Norte, difiere del esperable en latitudes medias y altas del Hemisferio Norte. La zona de Baja California a Colombia, experimenta frecuentemente este tipo de oleajes durante el verano, mientras que la costa pacífica Americana y Canadiense registran máximos durante el invierno. Esto es debido a la incidencia de oleajes generados en el Pacífico Sur, que se ven debilitados a partir de la latitud  $40^{\circ} N$ , de forma que solo los mayores *swells* son capaces de llegar a latitudes tan altas.
- La vertiente oeste del continente africano muestra unos valores intermedios de este tipo de oleajes, variando entre el 40% en Diciembre y el 85% en Julio (Namibia y Sudáfrica).
- Destaca el súbito incremento en el porcentaje de mares de fondo que recibe la zona de Omán, Pakistán y la cara oeste de la India durante el mes de Julio, con una probabilidad de ocurrencia superior al 70%, cuando el resto del año no se supera el 20%. Esto es debido al Monzón del Suroeste, capaz de generar oleajes de cierto grado de evolución durante el mes señalado

En cuanto a los estados de mar tipo *windswell*, se muestra en la figura 6.7 la probabilidad media mensual de este tipo de oleajes. Del análisis de esta figura, se obtienen las siguientes conclusiones:

- Los estados de mar *windswell* muestran una distribución espacial y temporal inversa a los *groundswells*.

- En el Atlántico Norte, de la República Dominicana hasta la desembocadura del Amazonas en Brasil, es la zona que mayor porcentaje de tiempo recibe mares de este tipo, presentando máximos durante los meses de invierno y primavera. En invierno, además, recibe ciertos pulsos de oleaje generado en la zona de convergencia extratropical, mientras que en primavera el oleaje que recibe esta parte del globo es principalmente producido por los vientos alisios del noreste.
- En el Atlántico Sur, se tiene que la mayor probabilidad de ocurrencia de mares de viento tiene lugar durante la segunda parte del año, especialmente de Junio a Noviembre. La zona más expuesta a los mismos resulta ser la región comprendida entre Rio Grande do Norte y Salvador en Brasil, con un 85% del tiempo durante los meses señalados.
- En el Pacífico oeste, los oleajes son principalmente de tipo *windswell*. Durante los meses de invierno, estos son más probables en las costas de Filipinas, mientras que durante el verano, lo son en las costas de Nueva Guinea y las Islas Salomón.
- El patrón estacional en el Océano Índico es muy parecido al del Atlántico Sur. Desde el Mar Árabe hasta el estrecho de Mozambique, incluyendo la cara noreste de Madagascar y otros sistemas insulares como Reunión y Seychelles, las condiciones de oleaje son predominantemente de tipo *windswell* de Junio a Octubre. Durante los meses de Junio a Agosto, se observa un incremento de este tipo de oleajes en la parte oeste del Mar Árabe (95 % del tiempo en el Golfo de Adén), mientras que en la parte este se observa un incremento de los mares tipo *groundswell*. Esto es debido a que la zona de generación del Monzón del Suroeste se encuentra situada sobre el Golfo de Adén, sin embargo, las costas de Pakistán y la India se sitúan fuera de la zona de influencia de estos vientos, motivo por el cual, durante esta época del año inciden oleajes medianamente desarrollados.

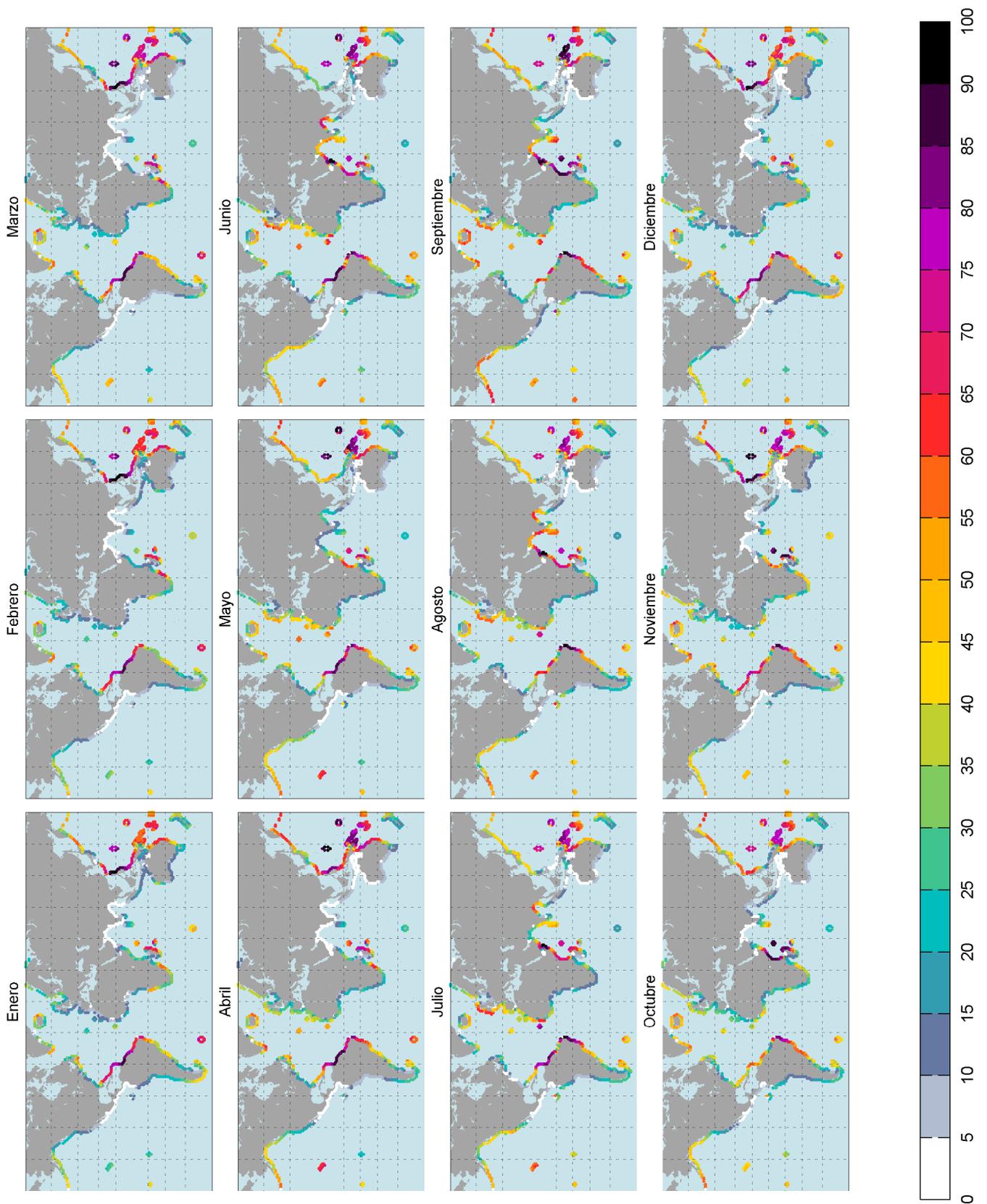


Figura 6.7. Probabilidad de ocurrencia mensual de estados de mar tipo *windswell*.

- Llama la atención la carencia de oleajes surfeables en la costa este australiana, especialmente de tipo *groundswell*. Esta zona, referente internacional en el mundo del surf, recibe principalmente oleajes tipo *windswell*, durante los meses de Febrero a Abril, con valores en torno al 70%. De hecho, el circuito mundial de surf arranca en la Gold Coast en el mes de Marzo, cuando la actividad del cinturón de vientos ecuatoriales en el Pacífico Norte es máxima. Durante el Mes de Marzo, la ocurrencia de oleajes de alto periodo del SSW es también muy elevada.

## 6.5. Análisis de la distribución espacial de las condiciones de surf en base a los subíndices $I_{cs}$ , $I_c$ e $I_e$

Una vez se ha caracterizado globalmente el oleaje, diferenciando entre estados de mar tipo *windswell* y *groundswell*, en este apartado se analiza el efecto en la distribución espacial y temporal de las condiciones de surf que se desprende de la incorporación de los subíndices definidos en el Capítulo 5.

El subíndice  $I_{cs}$  por su parte, permite diferenciar entre distintas calidades de estados de mar (oleaje y viento). El subíndice  $I_c$  incorpora el efecto de la temperatura (atmosférica y oceánica) de manera que modifica la distribución espaciotemporal del recurso. Finalmente, el subíndice  $I_e$  integra el efecto de la marea y la duración del día, que en términos absolutos afectan al valor real de disponibilidad de los distintos niveles de calidad de condiciones de surf.

### 6.5.1. Validación de los datos de partida

Como se vio en el Capítulo 5, el *Coastal Swell Index*, estima la calidad de las condiciones de surf en base a cinco variables básicas o fundamentales involucradas en la disponibilidad de condiciones de surf:  $H_s$ ,  $T_p$ ,  $\theta_p$ ,  $W$  y  $\theta_w$ . La validación planteada en este apartado se centra en comprobar la fiabilidad de los datos de oleaje y viento empleados en el cálculo de  $I_{cs}$ , ya que estos provienen de modelo numérico. El resto de bases de

datos ya han sido suficientemente contrastadas en trabajos previos realizados por los organismos pertinentes (NOAA, CRU, ECMWF). Para ello, han sido seleccionadas 14 boyas de aguas profundas pertenecientes a Puertos del Estado y a la NOAA. La localización de los instrumentos empleados se muestra en la figura 6.8.

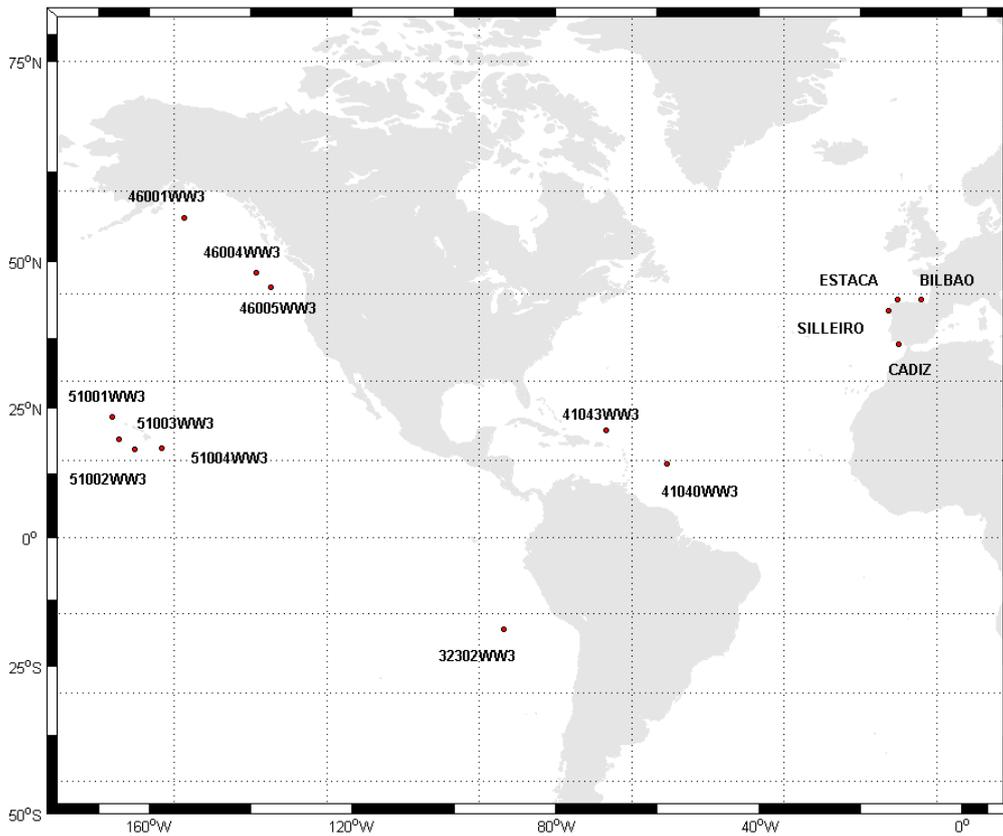


Figura 6.8. Localización de las boyas empleadas en la validación.

Como la unidad temporal de interés es el mes, en cada boya se ha comparado la probabilidad de ocurrencia mensual de buenas condiciones de surf, ya que es ésta la de mayor relevancia. Las variables a comparar son las medidas simultaneas  $[H_{s,boya}, H_{s,GOW}, T_{p,boya}, T_{p,GOW}, \theta_{p,boya}, \theta_{p,GOW}, W_{boya}, W_{NCEP}, \theta_{w,boya}, \theta_{w,NCEP}]$ . En el caso de boyas no direccionales, la dirección asumida es la ofrecida por el reanálisis GOW. Una vez obtenidos los pares de datos,  $[P_{high,GOW}[I_{cs}]_i, P_{high,boya}[I_{cs}]_i]$ ,  $i=1..n$ , siendo  $n$  el número de meses del registro, se comparan los resultados ajustando el coeficiente de regresión,  $b$  por medio de mínimos cuadrados. Para obtener más información acerca de distribución estadística de los datos, se calculan una serie de estimadores que se exponen a continuación.

- Coeficiente de correlación de Pearson,  $\rho$ :

$$\rho = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{\sqrt{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \sqrt{n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2}} \quad (6.2)$$

siendo  $x$  la variable instrumental,  $y$  la calculada con el modelo y  $n$  el número de datos a comparar.

- Error medio cuadrático o varianza residual,  $RMS$ :

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \quad (6.3)$$

- Desviación sistemática entre dos variables aleatorias,  $BIAS$ :

$$BIAS = \bar{x} - \bar{y} \quad (6.4)$$

- Índice de dispersión,  $SI$ :

$$SI = \frac{RMS}{\bar{x}} \quad (6.5)$$

Algunos de los resultados obtenidos de la comparación se muestran en la figura 6.9, en la cual puede observarse como el modelo reproduce correctamente el  $P_{high}[I_{cs}]$  calculado con datos instrumentales.

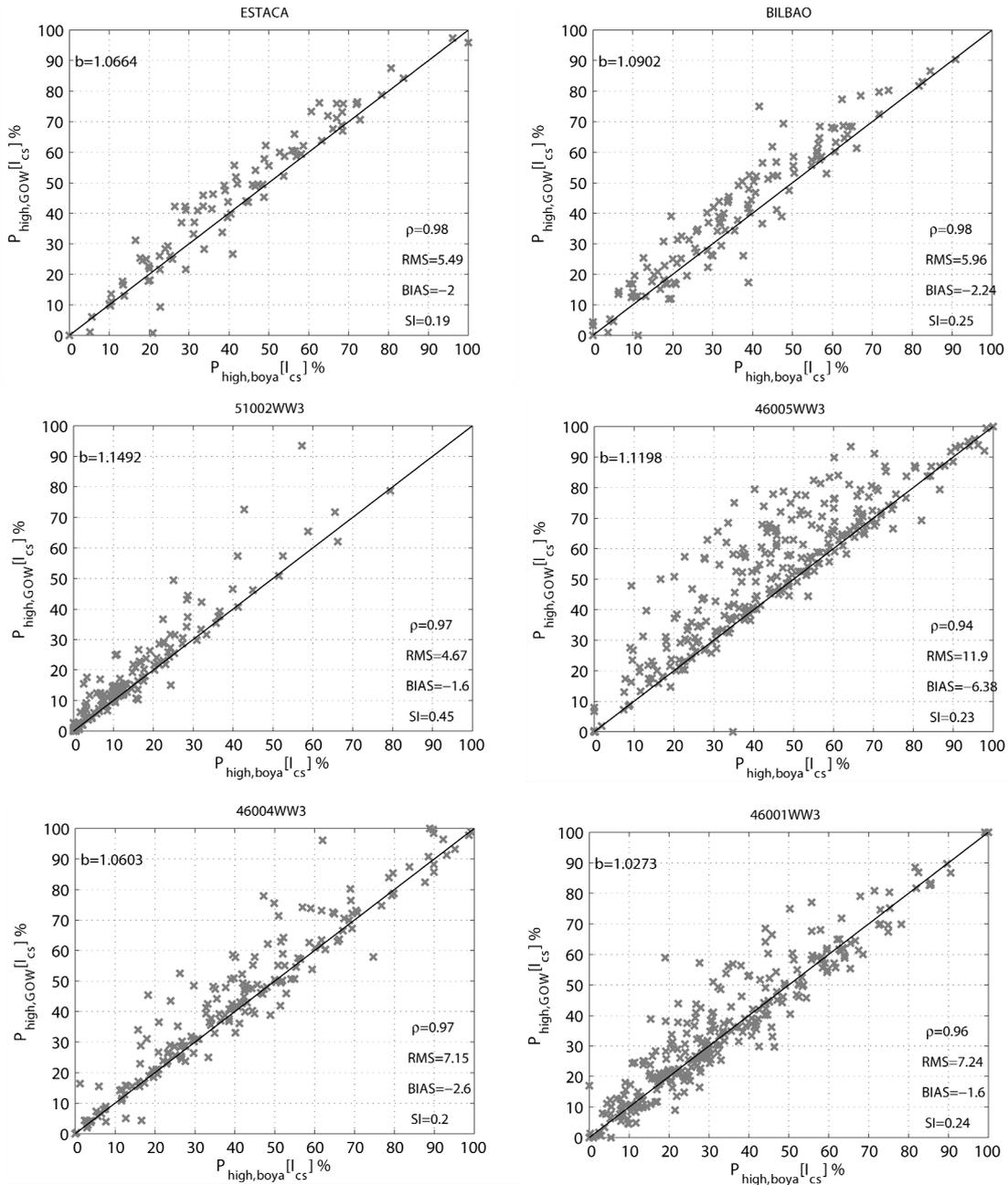


Figura 6.9. Gráficos de dispersión correspondientes a la comparación de  $P_{high}[I_{cs}]$  calculado con datos instrumentales y modelados.

En la tabla 6.1 se muestran los estimadores de la comparación de los datos. Los valores que toma el coeficiente de regresión  $\bar{b} = 1.0312$ , indican que las probabilidades calculadas con los datos modelados se ajustan muy bien a la calculada con datos instrumentales. Destaca la boya exterior de Cádiz, en la cual, el modelo sobreestima los valores de  $H_s$  y por lo tanto la calidad del oleaje. Por otro lado, los valores de  $P_{high}[I_{cs}]$  en las boyas 41040 y 41043 resulta ser menor a los medidos ( $b_{41043} = 0.72$ ,  $b_{41043} = 0.70$ )

debido a la gran variabilidad de los estados de mar en el Atlántico ecuatorial, donde las condiciones de surf suelen estar caracterizadas por estados de mar tipo *windswell*. El coeficiente de correlación indica una alta concordancia entre ambas fuentes de datos, siendo su valor medio  $\bar{\sigma} = 0.96$ . El  $\overline{RMS} = 6.05$ , indica un error medio de unas 20 horas al mes. La desviación sistemática media  $\overline{BIAS} = -1.02$ , indica una sobreestimación de alrededor 7 horas al mes cometida al utilizar los datos modelados. Por último, el índice de dispersión medio,  $\overline{SI} = 0.3$  indica una baja dispersión de los datos.

Estación	b	$\rho$	RMS	Bias %	SI
Bilbao	1.0902	0.98	5.96	-2.24	0.25
Estaca	1.0664	0.98	5.49	-2	0.19
Silleiro	1.067	0.98	6.08	-3.01	0.14
Cádiz	1.3	0.92	10.38	-4.63	0.25
32302	0.99526	0.97	7.85	0.03	0.11
46001	1.0273	0.96	7.24	-1.6	0.24
46004	1.0603	0.97	7.15	-2.6	0.2
46005	1.1198	0.94	11.9	-6.38	0.23
51001	1.0326	0.99	0.96	-0.12	0.22
51002	1.1492	0.97	4.67	-1.6	0.45
51003	1.0473	0.98	2.74	-0.97	0.24
51004	1.0566	0.96	1.85	-0.32	0.71
41043	0.7214	0.97	6.11	4.9	0.36
41040	0.7032	0.93	6.4	3.53	0.68
<b>Total</b>	<b>1.0312</b>	<b>0.9643</b>	<b>6.0557</b>	<b>1.2150</b>	<b>0.3050</b>

Tabla 6.1. Estadísticos de la comparación de las consistencias calculadas con datos instrumentales y modelados.

Del mismo modo, se ha validado la variabilidad mensual de  $P_{high}[I_{cs}]$  con el objetivo de cerciorar que éstas se ajustan a la variabilidad medida. La comparación del patrón estacional se muestra en la figura 6.10. En ella se aprecia como el modelo reproduce con exactitud el valor medio mensual de  $P_{high}[I_{cs}]$ . El error máximo observado corresponde a la estación 46005 situada al norte de California, en este punto el modelo sobreestima un 20% el valor de  $P_{high}[I_{cs}]$  durante los meses de verano. Esto es debido a que el modelo numérico empleado sobrestima sistemáticamente el  $T_p$  en esta zona (Hanson *et al.*, 2000).

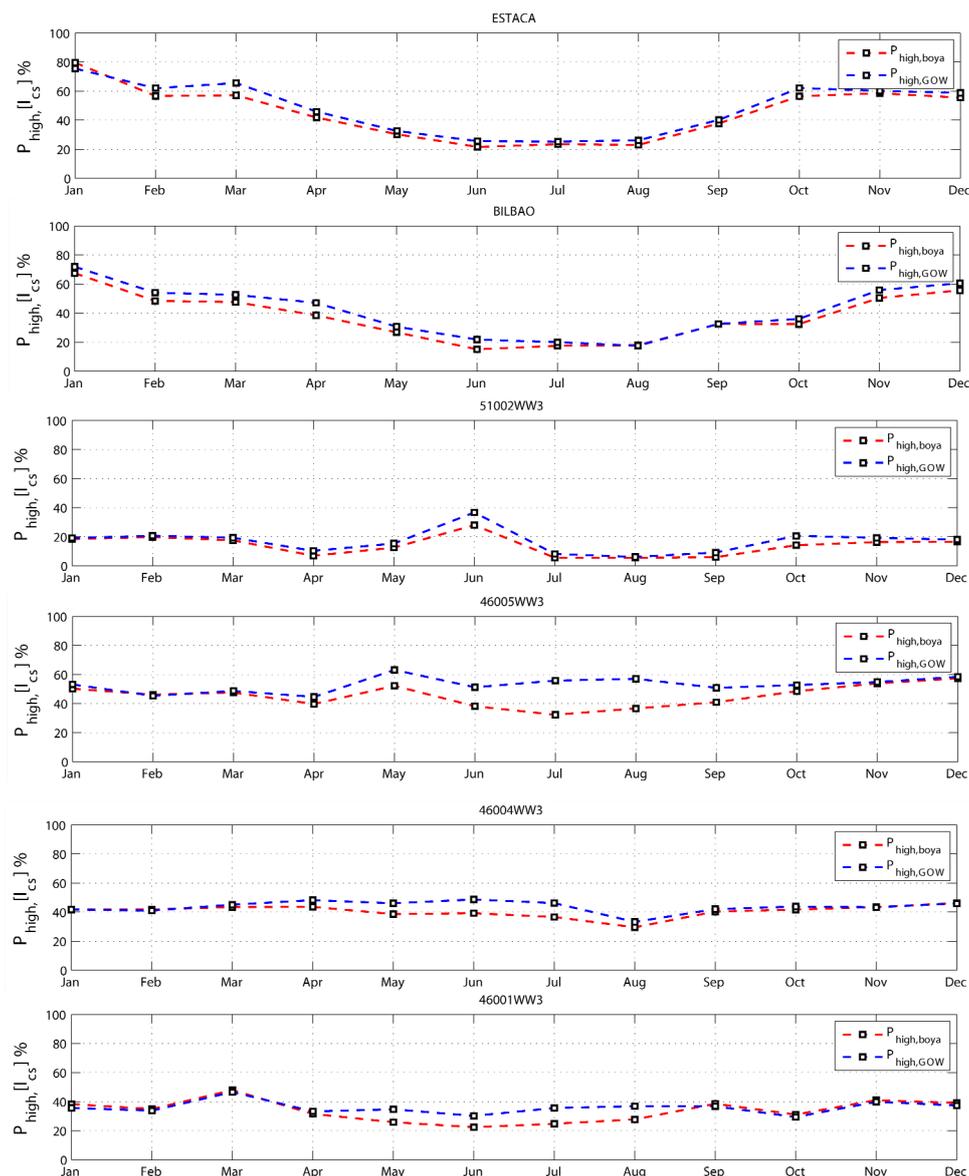


Figura 6.10. Comparación de  $P_{high}[L_{cs}]$  medio mensual calculado con datos instrumentales y modelados.

### 6.5.2. Validación de los criterios empleados

Para que los resultados obtenidos al aplicar el GSI sean concluyentes, es necesario, por un lado, validar los datos de partida y por otro qué los criterios empleados en el cálculo del GSI sean los adecuados. La validación de los criterios se ha dividido en dos apartados, en el primer apartado, se validan los criterios empleados al comparar los valores estacionales de  $P_{high}[GSI]$  con los que ofrece una de las guías de surf más ampliamente difundidas (ej. *The World Stormrider Guide*). En el segundo apartado se

realiza un análisis del calendario del *ASP World Tour* 2009-2010, comparando las fechas en las que cada prueba tiene lugar con los valores mensuales de  $P_{high}[GSI]$ .

### 6.5.2.1. Validación de GSI, *The World Stormrider Guide*

Una vez comprobada la validez de los datos empleados, es necesario contrastar los resultados obtenidos al aplicar el GSI con información existente relativa a las condiciones de surf en distintos lugares del planeta. Esta información está disponible en forma de guías de surf, las cuales, a través de la experiencia y la información local establecen unos barremos de idoneidad de las condiciones de surf en función de la época del año. Comparar los valores obtenidos mediante el *Global Swell Index* con los que ofrecen este tipo de guías, es una tarea mediante la cual, la validez de los criterios de evaluación de las variables implicadas, adquiere un carácter más riguroso y objetivo.

En este apartado se ha tomado como referencia el documento, *The World Stormrider Guide*, en el que pueden encontrarse tablas de estadística estacional como el que se muestra en la figura 6.11.

SURF STATISTICS	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
dominant swell	SW-NW	SW-NW	W-NW	W-NW	SW-NW							
swell size (ft)	5-6	5-6	4	3	4-5	5-6	5-6	5-6	5-6	5-6	5-6	5-6
consistency (%)	80	70	60	40	80	80	80	80	80	80	80	80
dominant wind	W-E	W-N	W-N	NW-N	W-N	W-E						
average force	F2	F2	F2	F2	F3							
consistency (%)	71	54	65	55	51	73	73	73	73	73	73	73
water temp (°C/°F)	13/55	14/57	16/61	18/64	17/62	15/59	15/59	15/59	15/59	15/59	15/59	15/59
wetsuit												

Figura 6.11. Cuadro de estadística estacional de las condiciones de surf. Fuente: *The World Stormrider Guide*, volumen I.

Como puede observarse, la información está desagregada en función de cada factor involucrado, describiendo con carácter general y de manera independiente la dirección media bimensual de oleaje y viento, el tamaño o intensidad y la consistencia (probabilidad de ocurrencia) junto a la temperatura media bimensual. En función de la combinación de las características del oleaje, el viento y la temperatura, a cada mes se le otorga un color que indica cualitativamente las probabilidades de ocurrencia de buenas condiciones de surf. Así, el color rojo indica que el surf es muy poco probable, el

amarillo indica una probabilidad media y el verde indica una alta probabilidad de ocurrencia de buenas condiciones de surf.

Como la información agrupada representada mediante el código de colores es de carácter cualitativo, para compararla con la evaluación cuantitativa obtenida mediante la aplicación del GSI, es necesario estandarizar respecto al valor máximo en cada punto. De esta forma es posible la validación relativa del índice propuesto.

$P_{high}[GSI]$  en un punto se estandariza en función de los percentiles mensuales de 30% y 60%. Así, para una zona concreta, aquellos meses que superen el percentil del 60% obtienen el color verde, los comprendidos entre el percentil 30%-60% el color amarillo y los inferiores al cuantil 30% el color rojo. En la figura 6.12 se muestra el paso de  $P_{high}[GSI]$  absoluto a relativo, los datos corresponden a la zona de Taghazoute, Marruecos. En el panel izquierdo las barras indican el  $P_{high}[GSI]$  medio mensual de buenas condiciones, las líneas rojas los percentiles de 0.3 y 0.6 respectivamente.

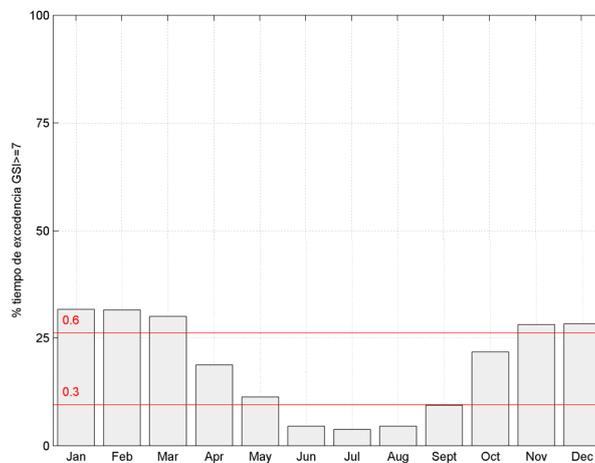


Figura 6.12. Distribución mensual de  $P_{high}[GSI]$  en Taghazoute. Las líneas rojas representan los percentiles de 0.3 y 0.6.

Evidentemente, ambas fuentes de información difieren en muchos aspectos, por lo tanto, cabe esperar una alta dispersión al comparar ambas. Sin embargo, al tratarse de  $N=960$  datos (80 zonas x 12 meses), si la mayoría de ellos adquieren los mismos valores, los criterios planteados quedarán validados. En la figura 6.13 se muestra la comparación de  $P_{high}[GSI]$  relativos de las 80 zonas, en ella puede apreciarse como la mayor parte de los datos se encuentran en el grupo de aciertos ( $N=451$ ), aunque se observa una

infravaloración media (N=263) en la probabilidad de ocurrencia obtenida mediante el GSI.

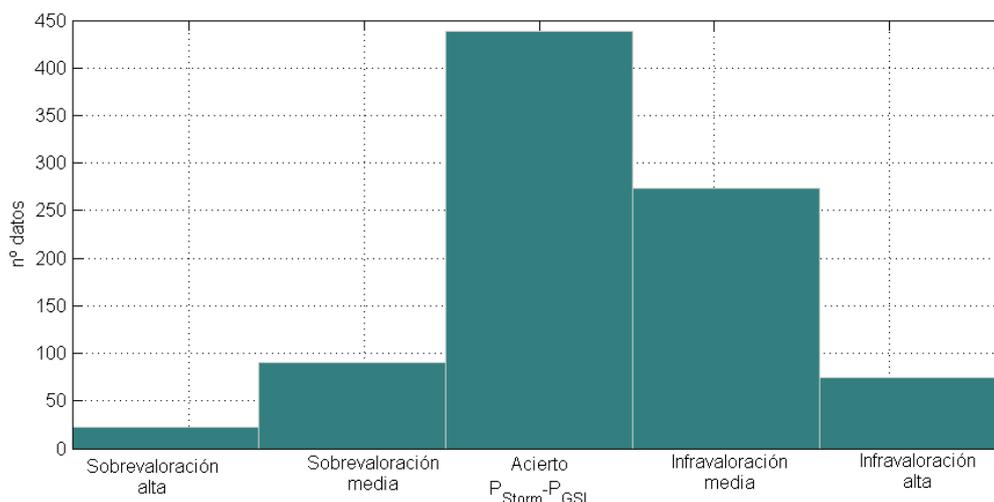


Figura 6.13. Validación relativa del GSI frente a los valores relativos de  $P_{high}[GSI]$  y los datos por la guía, *The World Stormrider Guide*, volumen 1.

### 6.5.2.2. Análisis del calendario del *ASP World Tour* 2009-2010

El circuito mundial de surf se disputa en diez rompientes alrededor del mundo, éstas han de estar consideradas como *world class*, o de alta calidad. El circuito sigue un calendario que trata de ajustarse a las condiciones climáticas y oceanográficas óptimas en cada lugar seleccionado. Atendiendo al compromiso entre probabilidad máxima de ocurrencia de buenas condiciones de surf en la rompiente seleccionada y la probabilidad máxima de condiciones climáticas agradables que hagan apetecible la asistencia del gran público. En la tabla 6.2 se muestra el calendario del circuito mundial de surf de la temporada 2009-2010.

Cada prueba queda fijada en un periodo de 10 días, si las condiciones de oleaje lo permiten, las mangas pueden ser disputadas en su totalidad en un mínimo de tres días. Por tanto, en cada prueba se dispone de un máximo de 7 días de espera, ya que en base a las previsiones, los organizadores deciden qué días han de disputarse las mangas. En caso de que durante el periodo de espera establecido no lleguen a ocurrir oleajes adecuados, el campeonato puede trasladarse a una rompiente cercana, normalmente de peor calidad. Si el oleaje no es adecuado para el nuevo enclave, la prueba queda suspendida.

Fecha	Rompiente
28-Febrero a 10- Marzo	Gold Coast, Australia
30-Marzo a 10-Abril	Bells Beach, Australia
23-Abril a 2-Mayo	Santa Catarina, Brasil
15-Julio a 25-Julio	Jeffreys Bay, Sudáfrica
23-Agosto a 3-Septiembre	Teahupoo, Polinesia Francesa
12-Septiembre a 5 Octubre	Trestles, California, EE.UU.
25 -Septiembre a 5-Octubre	Hossegor, Francia
7-Octubre a 18-Octubre	Peniche, Portugal
30-Octubre a 10-Noviembre	Somewhere, Puerto Rico
8-Diciembre a 20 Diciembre	Banzai Pipeline, Oahu, Hawaii

Tabla 6.2. Calendario oficial de pruebas del circuito ASP World Tour 2010. Fuente: [www.asp.com](http://www.asp.com)

Según el calendario oficial de pruebas de la *ASP World Tour 2010*, la primera prueba en disputarse aconteció en la Gold Coast, Australia, de finales de Febrero a mediados de Marzo. Según muestra la estacionalidad del recurso surf calculado en el punto más cercano a esta localización (figura 6.14), Marzo es uno de los meses más consistentes, con  $P_{high}[GSI]=15\%$  (9-10 días).

En las gráficas estacionales se representa la mediana de la función de distribución empírica de  $P_{high}[GSI]$  mensual mediante una línea negra; los rectángulos negros (cajas) representan el valor superior e inferior de los percentiles del 25% y 75%; los corchetes negros se extienden a los valores más extremos no considerados excepcionales, estos últimos, son representados por círculos negros. El mes en el que se realiza la prueba se resalta en color rojo. Junto a cada gráfico estacional, se adjunta una fotografía correspondiente al *spot* considerado, donde se muestran las condiciones de surf acontecidas durante las fechas indicadas en la tabla 6.2. Nótese que se trata de valores absolutos, por tanto, un  $P_{high}[GSI]=10\%$  indica unas 72 horas/mes, o lo que es lo mismo, 6 días/mes de condiciones de surf de alta calidad.

En las figuras que se muestran a continuación, puede comprobarse como la mayoría de las pruebas del circuito ASP son realizadas durante los meses en los que la probabilidad de ocurrencia de buenas condiciones de surf es muy elevada. Los eventos fechados en aquellos meses donde  $P_{high}[GSI]$  alcanza valores máximos son: Gold Coast, Jeffreys Bay y

Trestles. En el resto de lugares, exceptuando Santa Catarina en Brasil y Teahupoo en Tahiti, los eventos son realizados en uno de los tres meses más consistentes del año. En Santa Catarina, el mes que mejores valores muestra (Septiembre) coincide con temperaturas demasiado frías y lluvias intensas que quizás no influyan en la práctica del deporte, pero si son factores a considerar para la asistencia del público. Teahupoo es la rompiente más peligrosa del circuito, motivo por el cual, la prueba es realizada en uno de los meses menos consistentes, Agosto (28% ó 10 días/mes), ya que en esta época del año los swells incidentes son de menor tamaño. Las pruebas de Hossegor y Peniche son realizadas en Octubre,  $P_{high}[GSI]$  de 15 y 25% respectivamente.

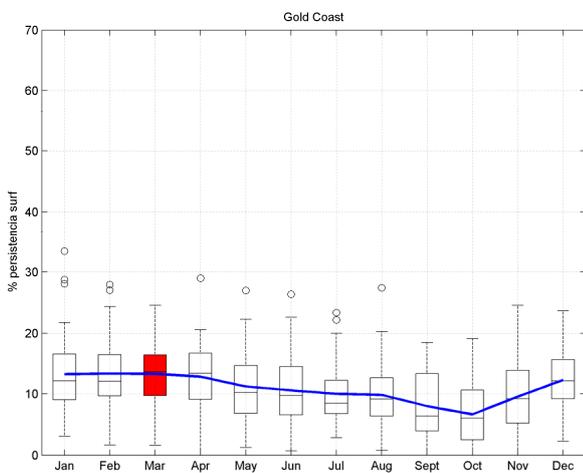


Figura 6.14. Variabilidad mensual de  $P_{high}[GSI]$  y ejemplo de las condiciones de surf acontecidas durante la prueba del circuito ASP 2009-2010, en Gold Coast, Australia. Fuente imagen: [www.aspworldtour.com](http://www.aspworldtour.com)

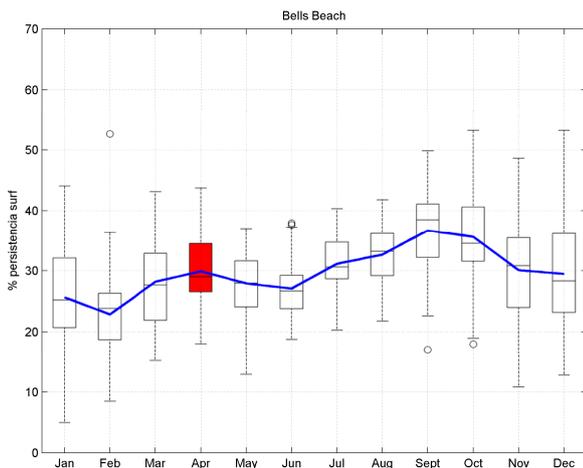


Figura 6.15. Variabilidad mensual de  $P_{high}[GSI]$  y ejemplo de las condiciones de surf acontecidas durante la prueba del circuito ASP 2009-2010, en Bells Beach, Australia. Fuente imagen: [www.aspworldtour.com](http://www.aspworldtour.com)

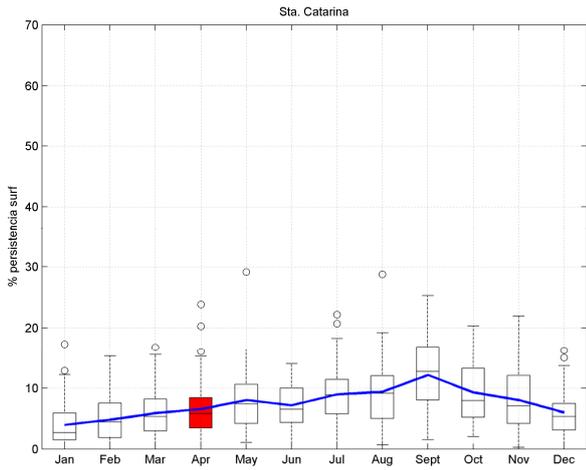


Figura 6.16. Variabilidad mensual de  $P_{high}[GSI]$  y ejemplo de las condiciones de surf acontecidas durante la prueba del circuito ASP 2009-2010, en Santa Catarina, Brasil. Fuente imagen: [www.aspworldtour.com](http://www.aspworldtour.com)

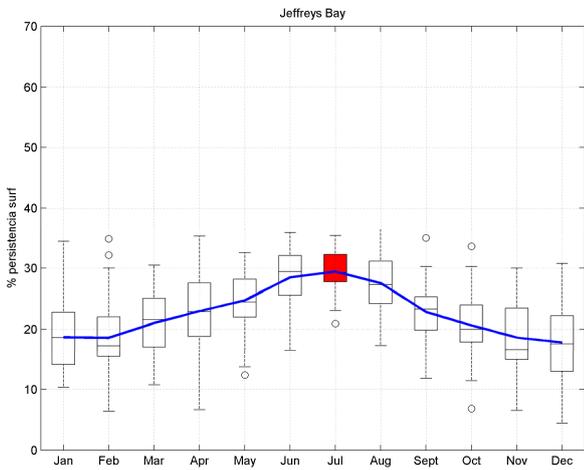


Figura 6.17. Variabilidad mensual de  $P_{high}[GSI]$  y ejemplo de las condiciones de surf acontecidas durante la prueba del circuito ASP 2009-2010, en Jeffreys Bay, Sudáfrica. Fuente imagen: [www.aspworldtour.com](http://www.aspworldtour.com)

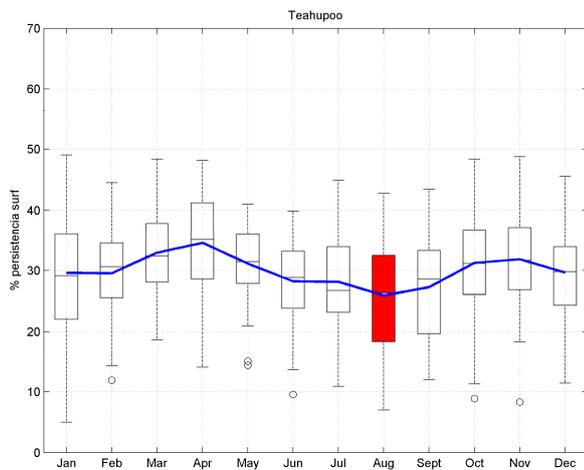


Figura 6.18. Variabilidad mensual de  $P_{high}[GSI]$  y ejemplo de las condiciones de surf acontecidas durante la prueba del circuito ASP 2009-2010, en Teahupoo, Tahiti. Fuente imagen: [www.aspworldtour.com](http://www.aspworldtour.com)

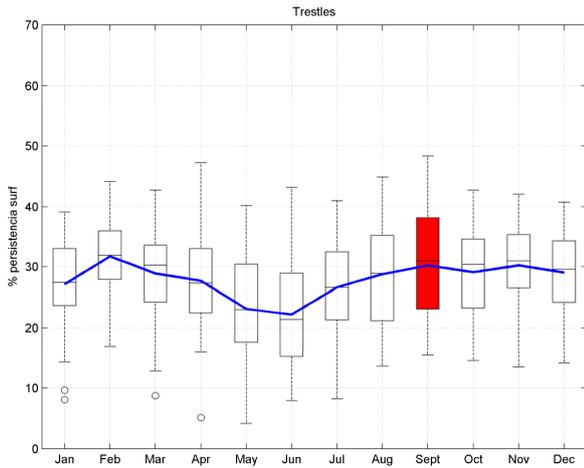


Figura 6.19. Variabilidad mensual  $P_{high}[GSI]$  y ejemplo de las condiciones de surf acontecidas durante la prueba del circuito ASP 2009-2010, en Trestles, California. Fuente imagen: [www.aspworldtour.com](http://www.aspworldtour.com)

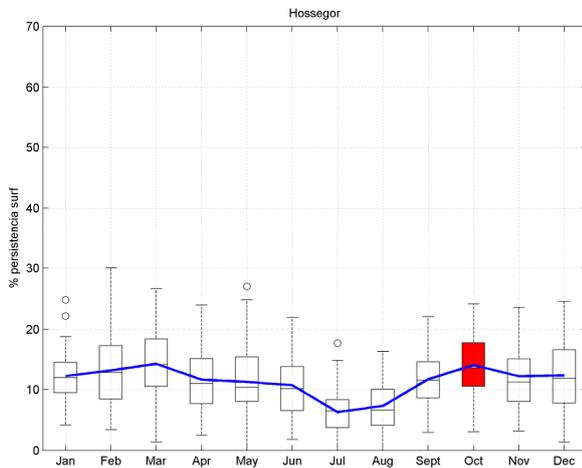


Figura 6.20. Variabilidad mensual de  $P_{high}[GSI]$  y ejemplo de las condiciones de surf acontecidas durante la prueba del circuito ASP 2009-2010, en Hossegor, Francia, California. Fuente imagen: [www.aspworldtour.com](http://www.aspworldtour.com)

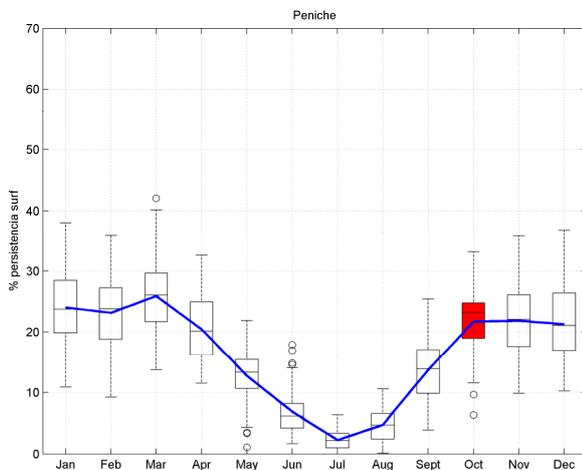


Figura 6.21. Variabilidad mensual de  $P_{high}[GSI]$  y ejemplo de las condiciones de surf acontecidas durante la prueba del circuito ASP 2009-2010, en Peniche, Portugal. Fuente imagen: [www.aspworldtour.com](http://www.aspworldtour.com)

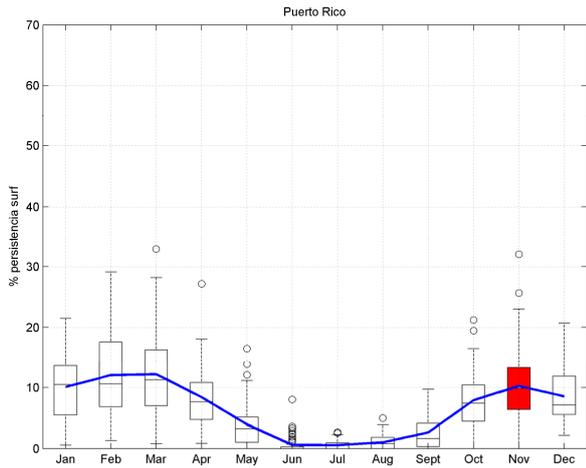


Figura 6.22. Variabilidad mensual de  $P_{high}[GSI]$  y ejemplo de las condiciones de surf acontecidas durante la prueba del circuito ASP 2009-2010, en Puerto Rico. Fuente imagen: [www.aspworldtour.com](http://www.aspworldtour.com)

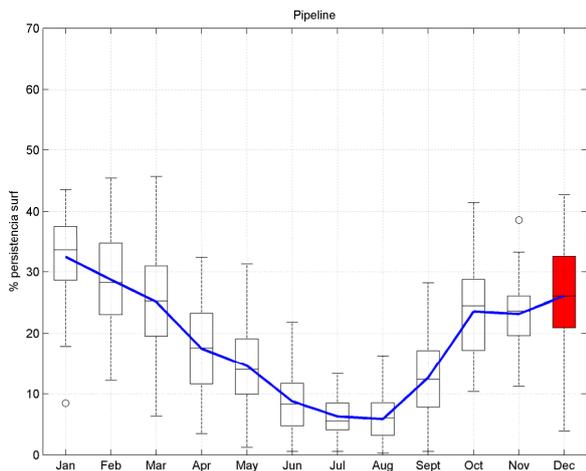


Figura 6.23. Variabilidad mensual de  $P_{high}[GSI]$  y ejemplo de las condiciones de surf acontecidas durante la prueba del circuito ASP 2009-2010, en Pipeline, Hawái. Fuente imagen: [www.aspworldtour.com](http://www.aspworldtour.com)

### 6.5.3. Distribución espacial de las condiciones de surf definidas en función del $I_{cs}$

El  $I_{cs}$ , al incorporar el efecto del viento, muestra una distribución espacial diferente a la que muestran los *groundswells*, ya que penaliza aquellas zonas que aun presentando buenos oleajes, los vientos poco favorables restan calidad a las condiciones de surf. La figura 6.24 muestra, a modo de ejemplo, la orientación media de la costa calculada en cada punto del continente Australiano donde son conocidas las variables de interés.

Cada vector toma la dirección normal a la costa definida esta en tramos de 100 a 150 km aproximadamente, siendo ésta la dirección empleada para la propagación del oleaje y la evaluación de la idoneidad del viento.



Figura 6.24. Ejemplo de la orientación media de la costa en Australia.

En la figura 6.25 se muestra la distribución media anual de condiciones aptas,  $P_{medium}[I_{cs}]$ , y favorables para el surf,  $P_{high}[I_{cs}]$ . Nótese que el término calidad de un estado de mar, está relacionado con la probabilidad de que un oleaje genere buenas condiciones de surf al incidir en la costa. En el panel superior, se muestra  $P_{high}[I_{cs}]$ , por encontrarse las variables relevantes dentro de los rangos establecidos como tales. En el panel inferior se muestra la probabilidad media anual de aquellos oleajes generados por las tormentas extratropicales y vientos alisios en ambos hemisferios, pero con  $H_s$  demasiado grande o pequeña, con  $T_p$  bajo, o con vientos poco favorables. Nótese el parecido entre las figuras figura 6.25 y figura 6.5, existiendo relación entre aquellos lugares que presentan probabilidades altas de estados de mar tipo *groundswell* y aquellos con altos valores de  $P_{high}[I_{cs}]$ . Del mismo modo, aquellas zonas donde la ocurrencia de oleajes extremos es probable, también son penalizadas. Por este motivo, las regiones situadas en las zonas de generación de oleaje presentan valores de  $P_{high}[I_{cs}]$  inferiores que aquellas más alejadas. Este es el caso del sur de Chile, el norte de España o Irlanda, lugares en los que

es frecuente que el oleaje llegue acompañado de vientos intensos, lo cual disminuye las probabilidades de encontrar buenas condiciones de surf.

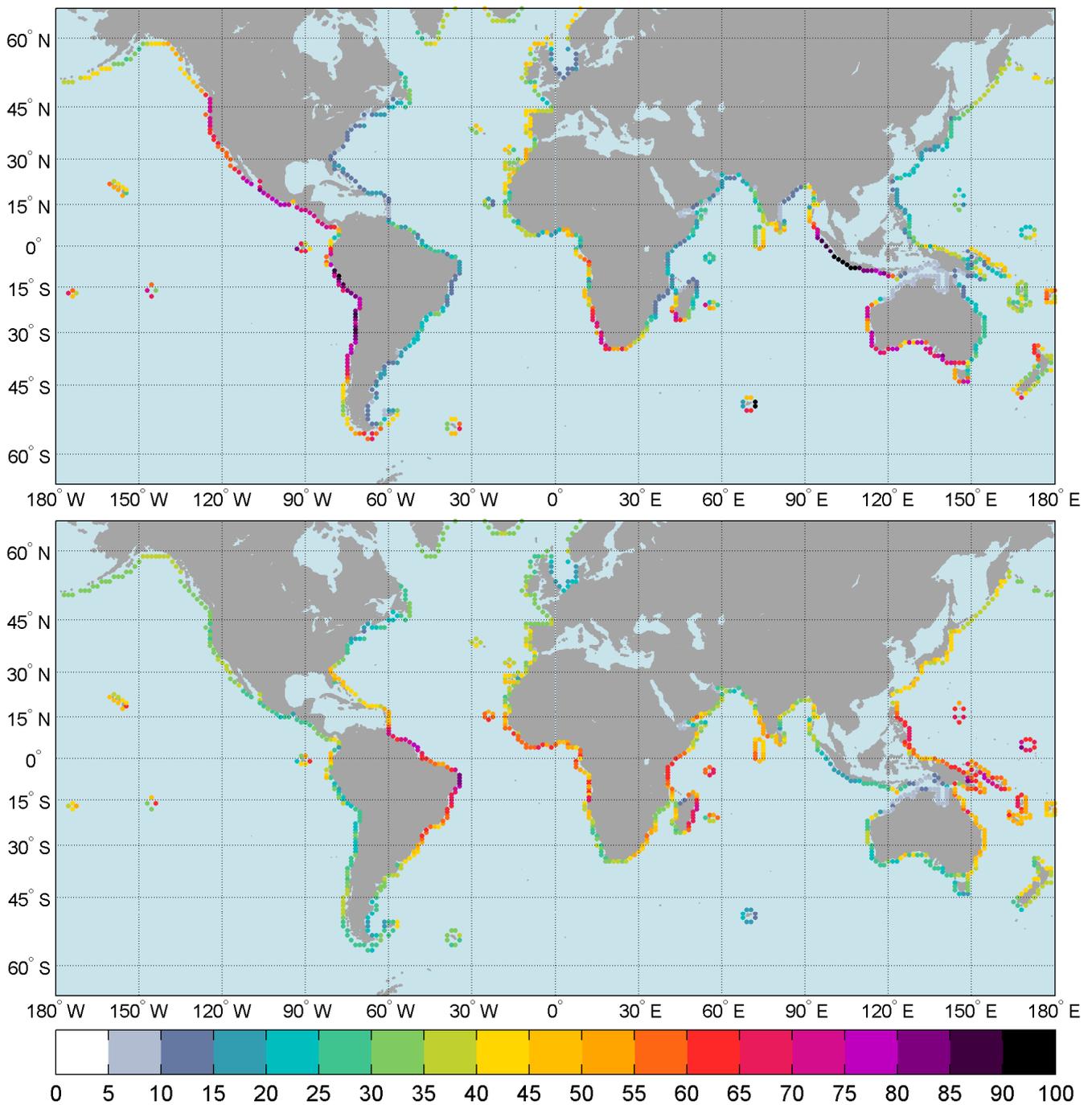


Figura 6.25. Distribución espacial de  $P_{high}[L_{cs}]$  (panel superior) y  $P_{medium}[L_{cs}]$  (panel inferior).

En términos absolutos, en latitudes medias y bajas ( $45^{\circ} N - 45^{\circ} S$ ) orientadas al oeste es donde mayor disponibilidad de buenas condiciones de surf existen. Por un lado, se tiene que los oleajes generados en el cinturón extratropical de vientos del oeste, han de viajar distancias superiores al millar de kilómetros, por lo que disponen del recorrido

necesario para disipar las altas frecuencias, agruparse y aumentar el periodo de pico, adquiriendo las características típicas de estados de mar tipo *groundswell*. Por otro lado, se tiene que los vientos dominantes en latitudes en torno a los 30° son generalmente de componente este, lo que significa vientos *offshore* para aquellas costas orientadas al oeste, aumentando de esta forma la probabilidad de encontrar buenas condiciones de surf en las latitudes indicadas.

Como puede comprobarse, no todas las zonas con altos valores de  $P_{high}[I_{cs}]$  presentan valores altos de  $P_{medium}[I_{cs}]$ , así, determinadas regiones del planeta ven limitado su recurso surf a condiciones suficientes, medias o aptas. Como ejemplo, cabe destacar la zona norte de Brasil, con estados de mar de calidad media un 80% del tiempo, mientras que apenas alcanza el 10% de buenas condiciones. En Nueva Guinea, sin embargo, las condiciones de surf están más equiparadas, con un 60% de estados de mar de calidad media y un 40% de buena calidad.

Según la figura 6.25 es posible encontrar condiciones aptas para el surf un mínimo del 20% del tiempo en cualquier tramo costero del planeta que se encuentre suficientemente expuesto a los oleajes dominantes del lugar, lo que supone unos 60 días al año. Sin embargo, la probabilidad de encontrar condiciones de surf de calidad alta cae al 10%, unos 30-35 días al año.

Destacan, por la falta de condiciones de surf las costas orientadas al este en el Hemisferio Norte y Sur, especialmente aquellas comprendidas entre las latitudes 30° y 45°. En la costa este de EEUU,  $P_{medium}$  no supera el 40%, al igual que la costa de Argentina o las costas de Japón y China. Cabe destacar por otro lado, los altos valores de  $P_{high}[I_{cs}]$  que presentan las costas orientadas al oeste como Chile, Perú o Indonesia, que reciben directamente los constantes *swells* extratropicales generados en el Hemisferio Sur entre las latitudes 40° S y 60° S. Estas costas, presentan valores anuales de  $P_{high}[I_{cs}]$  superiores al 90% en algunas zonas.

En el Hemisferio Sur, destacan, la franja litoral del sur de Sudáfrica y Australia, con valores de  $P_{high}[I_{cs}]$  que rondan el 70%. Este detrimento respecto a las zonas indo-asiática

y sudamericana es debido a que la distancia de propagación del oleaje es menor, siendo frecuente además que los oleajes lleguen acompañados de vientos intensos de componente oeste. Por el contrario, la probabilidad de ocurrencia que presentan las costas occidentales en el Hemisferio Norte es algo menor, ya que debido a la presencia de grandes masas continentales, la estacionalidad del oleaje es mucho más marcada. La ocurrencia máxima de condiciones de alta calidad observada en el Hemisferio Norte se concentra principalmente en las costas de California, México y las Islas Hawai, superando el 80% en determinadas posiciones. En el Océano Atlántico, sin embargo, no se alcanzan valores tan altos, ya que las dimensiones de esta cuenca son considerablemente menores, con valores en torno al 60% en la costa de Marruecos, 50% en la costa oeste de Portugal y 40% en el Mar Cantábrico.

#### **6.5.3.1. Variabilidad estacional de las condiciones de surf de alta calidad, $P_{high}[I_{cs}]$**

Debido a que los oleajes de alta calidad son los que mayor interés suscitan, sólo se muestran los resultados de variabilidad estacional de  $P_{high}[I_{cs}]$ . Así, en la figura 6.26, se muestra la variabilidad mensual de la probabilidad de ocurrencia de condiciones de surf de alta calidad. De esta figura, se extraen las siguientes conclusiones referentes a la disponibilidad global de oleajes de alta calidad para la práctica del surf:

- Las condiciones de surf de alta calidad son más frecuentes en los inviernos respectivos de cada hemisferio.

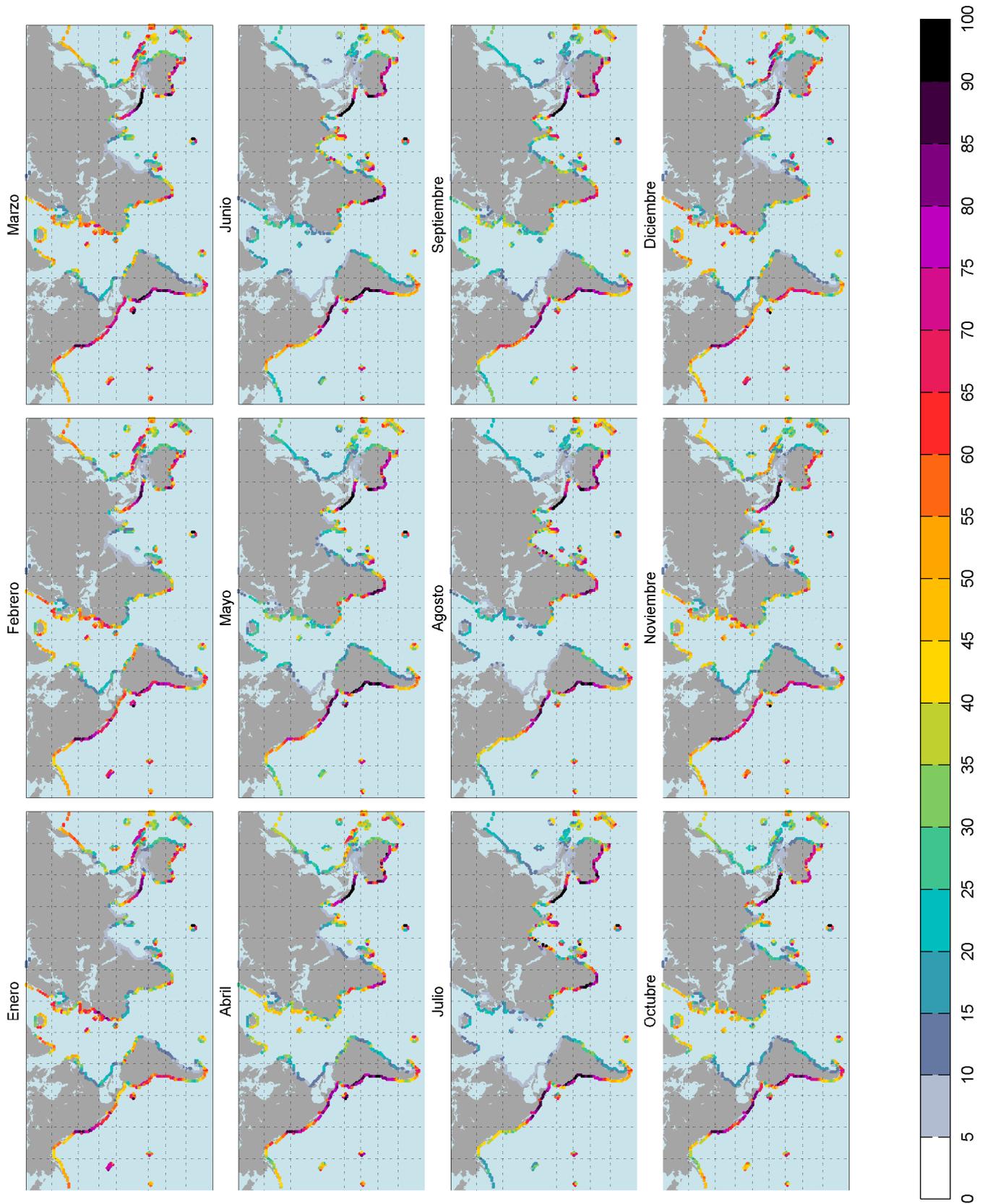


Figura 6.26. Variabilidad mensual de  $P_{high}[I_{cs}]$ .

- La variabilidad estacional del oleaje en la cuenca norte del Atlántico es de las más altas observadas en mares abiertos (Young, 1999; Woolf *et al.*, 2002; Izaguirre *et al.*, 2010), lo cual concuerda con los resultados. La ocurrencia de condiciones de surf durante los meses de verano desciende drásticamente en todo el Atlántico Norte exceptuando la costa noroeste de Portugal, el norte de España, la vertiente atlántica de Francia, Inglaterra e Irlanda que se mantienen en torno al 20%. Estas zonas, sin embargo, sufren la severidad de los temporales del invierno, con vientos muy intensos del oeste y noroeste, lo cual limita las opciones de surf. Así, el  $P_{high}[I_{cs}]$  observado en las costas Europeas varía entre el 20% en verano y el 70% en invierno, mientras que zonas más alejadas como Canarias, sufren variaciones más acusadas pasando de menos del 10% en Julio a un 85% en Enero.
- La cara oeste de Portugal presenta valores significativamente más altos de  $P_{high}[I_{cs}]$  durante los meses de invierno debido a que, por su orientación, está más expuesto a los oleajes generados por borrascas que ocasionalmente se sitúan en latitudes más bajas, entorno a los  $30^{\circ} N$ . Sin embargo, durante el verano, debido al efecto de los vientos alisios, combinado con el pequeño tamaño del oleaje, hace que el surf de alta calidad en las costas portuguesas adquiera un carácter esporádico (menos del 10% en Julio).
- El  $P_{high}[I_{cs}]$  muestra un claro gradiente longitudinal y zonal en el Atlántico Norte, siendo este más frecuente (80%) de Diciembre a Marzo en la cara oeste de Marruecos y demás sistemas insulares que componen la Macaronesia (Islas Canarias, Azores, Cabo Verde, Madeira e Islas Salvajes). Las zonas mencionadas son, del Atlántico Norte, las más alejadas y a la vez expuestas a los oleajes generados en latitudes superiores. Los vientos alisios son también determinantes en esta parte del globo, estos se debilitan durante el invierno boreal y se intensifican durante la primavera y el verano, motivo por el cual, la surfeabilidad se ve mermada.

- En la costa este de Estados Unidos y el Caribe se observan valores muy bajos de  $P_{high}[I_{cs}]$ , siendo siempre inferior al 25%, a excepción de la costa atlántica canadiense. Esta ausencia de condiciones de surf se ve acentuada durante los meses de verano, con altura de ola significativa media mensual inferior al metro y periodo de pico siempre a inferior a los 7 segundos. El surf en esta parte del Atlántico, registra su mayor actividad al final del verano, ya que en esta época son frecuentes los huracanes (Kimball y Mulekar, 2004) que generan condiciones de cierta calidad (entre un 5 y un 15%) en los meses de Septiembre y Octubre. De Noviembre a Abril, el recurso surf en esta zona obedece a la llegada de ciertos pulsos de oleaje generados en el cinturón de vientos del oeste, con una media de 6 días de surf al mes.
- En el Atlántico Sur, la disponibilidad de buenas condiciones de surf se ve limitada por la disponibilidad del oleaje, al norte de la latitud  $20^{\circ} S$ . El oleaje favorable, debido al efecto sombra que ejerce la Tierra de Fuego, es más frecuente durante el invierno austral en la margen sudoeste de Namibia y Sudáfrica, con un 70% del tiempo, especialmente para aquellos *spots* orientados al NW en la cara oeste y al SE en la cara sur de Sudáfrica (ej. Jeffreys Bay). La costa de Angola se ve frecuentemente afectada por los vientos alisios, especialmente al sur de Benguela. Al norte, el viento se debilita, por lo que  $P_{high}[I_{cs}]$  aumenta a un 60% durante los mejores meses. La costa comprendida entre Sierra Leona y Camerún sufre frecuentemente la falta de oleajes suficientemente energéticos, por lo que  $P_{high}[I_{cs}]$  disminuye al 20%, exceptuando las zonas más expuestas (ej. Nigeria y Gabón), que durante los meses del invierno austral registran valores de  $P_{high}[I_{cs}]$  en torno al 50 y 60%.
- En el Pacífico Norte, dominan durante el invierno los oleajes generados entre el Mar de Bering y Hawai (Bromirski *et al.*, 2005), cuya dirección principal de propagación es del NW, por ese motivo, la costa pacífica de América Central registra mínimos durante los meses de Diciembre a Enero, ya que este tramo de costa está orientado al SW. La región oeste de California, presenta máximos de Octubre a Febrero, con  $P_{high}[I_{cs}]$  de hasta el 70%. Baja California, sin embargo, es algo más compleja que las zonas anteriores puesto que está gobernada por los

*swells* generados en ambos hemisferios, lo que hace que la estacionalidad de  $P_{high}[I_{cs}]$  no coincida exactamente con la estacionalidad climática del Hemisferio Norte. Así, la vertiente pacífica de México presenta valores altos de  $P_{high}[I_{cs}]$  durante el otoño e invierno, pero también durante la primavera y el verano, ya que la acción de los mares del NW y SW se confunden y, a que es en primavera es cuando se intensifica el patrón de vientos *offshore* del NE. En Baja California, por ejemplo, los *spots* más consistentes están orientados al SW.

- El patrón descrito para California y México es aplicable a la vertiente pacífica de América Central, de Guatemala a Panamá, donde la probabilidad de ocurrencia de buenas condiciones de surf es muy elevada durante todo el año, pasando de un 50% en el invierno del Hemisferio Norte a un 85% durante el verano. Debido al carácter ecuatorial de esta parte del globo, el viento es generalmente débil, siendo las brisas térmicas las más determinantes en la calidad del surf.
- En la vertiente oeste de Sudamérica, se diferencian tres zonas en función de los vientos dominantes, ya que el oleaje es muy persistente en toda la costa, alrededor de un 90% del tiempo. Entre el Ecuador y el Trópico de Capricornio, los vientos dominantes son del SE, durante todo el año, siendo más intensos de Junio a Octubre. Por este motivo la orientación media de los *spots* en esta zona es NW (ej. Chicama, figura 6.27). Al sur del Trópico de Capricornio existe una zona donde la acción del viento deja de ser tan relevante y es el excesivo tamaño de los oleajes lo que limita el recurso surf, por lo que  $P_{high}[I_{cs}]$  cae en torno al 50%. Por último, entre las latitudes  $30^{\circ}S$  y  $60^{\circ}S$ , los vientos del oeste comienzan a afectar negativamente a la calidad del oleaje, haciendo que  $P_{high}[I_{cs}]$  caiga a menos de un 30%. Las tres bandas zonales definidas cambian muy poco a lo largo del año, lo que concuerda con la baja variabilidad del oleaje en este hemisferio.



Figura 6.27. Imagen aérea de Chicama, Perú. Fuente: Google Earth 2010.

- En el Índico, el incremento en la intensidad de los vientos del oeste en el Hemisferio Sur ocurrido entre Abril y Septiembre, provoca un aumento en el tamaño del oleaje, de manera que éste se extiende en su propagación hasta las costas del Mar Arábico, Mar de Laccadive y la Bahía de Bengala (Young, 1999). Esto produce un incremento notable del valor de  $P_{high}[I_{cs}]$  en la cara sureste de la isla de Madagascar, Seychelles, Islas Mauricio y Reunión. Somalia, Omán, la India, Sri Lanka, Bangladesh, Birmania e Indonesia, así como las Maldivas, que ven también incrementada la probabilidad de mares de alta calidad. Destaca, en el Índico, el súbito incremento en  $P_{high}[I_{cs}]$  observado durante los meses de Junio, Julio y Agosto debido al Monzón del Suroeste, cuyo efecto es evidente en el Golfo de Adén y Omán, con valores de  $P_{high}[I_{cs}]$  que superan el 80% durante estos meses, ya que se encuentran muy protegidos de los intensos vientos del monzón.



Figura 6.28. Península de Bukit, Bali. Zonas de surf en función de la direccionalidad estacional del viento.

Fuente: Google Earth 2010.

- Indonesia parece estar estratégicamente situada, manteniendo un equilibrio perfecto entre el tamaño y grado de desarrollo del oleaje y el viento. Por su latitud, el viento dominante suele ser suave ( $\bar{W}=6$  m/s) y direccionalmente estable, especialmente en las islas situadas en las inmediaciones del ecuador, (ej. Sumatra, Mentawai). Las islas más meridionales (ej. Bali, Lombok, Sumbawa), se encuentran dentro del área de influencia de los vientos alisios, lo que supone vientos *offshore* para aquellos *spots* orientados al NW (ej. Uluwatu). Por este motivo, junto con la mayor incidencia de oleajes en las islas del norte, se observa un gradiente latitudinal en  $P_{high}[I_{cs}]$ , variando entre un 90 y un 70% durante los meses de verano. El patrón de vientos se invierte, de Diciembre a Abril, siendo éste de componente NW, de flojos a moderados. Por lo que, a pesar del menor tamaño del oleaje dominante, los *spots* más consistentes son los orientados al SW (ej. Nusa Dua), ver figura 6.28.
- El continente australiano presenta una gran variedad de condiciones de surf, ya que se encuentra en su totalidad rodeado de agua. La costa norte de Australia presenta  $P_{high}[I_{cs}]$  próximo a cero, con alturas de ola siempre inferior al medio

metro. La costa este presenta valores de  $P_{high}[I_{cs}]$  en torno al 25%, que se mantienen constante durante la mayor parte del año. Esta región se ve dominada por oleajes tipo *windswell* que durante los meses de Marzo y Abril pueden generar condiciones de alta calidad, debido a la ocurrencia de ciclones en el Pacífico subtropical. El resto del año recibe ocasionalmente *swells* generados en el Mar de Tasmania, lo que supone unos 8 días/mes de buenas condiciones de surf. La orientación local de los *spots* en esta zona, obedece también a los vientos dominantes, estando en su mayoría orientados al NE. El estado de Nueva Gales del Sur presenta unas condiciones de viento más suaves, siendo las brisas térmicas las responsables en la variabilidad diaria del recurso surf, en caso de disponibilidad de oleaje. El valor de  $P_{high}[I_{cs}]$  en esta zona es más elevado que en el estado de Queensland, ya que por su orientación está más expuesta a los oleajes procedentes del SSW, los cuales generan también buenas condiciones de surf en Nueva Zelanda, Fiji y demás islas de la Polinesia Francesa. La cara sur de Australia presenta una alta ocurrencia de los estados de mar tipo *groundswell*, sin embargo, se ve frecuentemente afectada por los vientos del SW y WSW, por lo que los principales *spots* se encuentran orientados al SE (ej. Bells Beach). La costa oeste, muestra valores altos de  $P_{high}[I_{cs}]$ . En esta parte, los vientos alisios toman dirección SSE, lo cual genera un gradiente sur-norte en los valores de  $P_{high}[I_{cs}]$ .

- La intensificación de los vientos alisios norecuatoriales en el Pacífico Norte, acontecida durante los meses de Noviembre a Marzo, generan un súbito aumento del valor de  $P_{high}[I_{cs}]$  en las costas de Nueva Guinea, Filipinas e Islas Salomón, con valores en torno a 85%. Parte de estos *windswells* llegan a incidir también en la costa este de Australia. De Mayo a Septiembre,  $P_{high}[I_{cs}]$  se mantiene prácticamente por debajo del 5%.
- La costa pacífica del continente Euroasiático muestra valores muy bajos de  $P_{high}[I_{cs}]$  de Diciembre a Julio, debido a la falta de oleaje. Sin embargo, gracias a la acción de los tifones en el Mar de China, muy frecuentes de Julio a Octubre, el  $P_{high}[I_{cs}]$  se ve incrementado al 20%. De Diciembre a Marzo, debido al aumento de

la actividad en la zona de convergencia extratropical del Pacífico Norte, el  $P_{high}[I_{cs}]$  en las islas del Mar de Ojotsk y Mar de Bering, sube al 40%.

#### 6.5.4. Distribución espacial de las condiciones de surf definidas en función de $I_{cs} \cdot I_c$

Una vez descritas las condiciones de surf en función del  $I_{cs}$ , el *Comfort Index* permite la integración de la temperatura superficial (del mar y la atmósfera) en la evaluación global del recurso. En la figura 6.29 se puede apreciar el efecto neto que el  $I_c$  produce en la distribución espacial del recurso surf de alta calidad. Al comparar la distribución media de  $P_{high}[I_{cs}]$  y  $P_{high}[I_{cs} \cdot I_c]$ , puede observarse como en las latitudes superiores o inferiores a  $\pm 45^\circ$ , el efecto de la temperatura comienza a ser significativo. Este efecto es especialmente claro en aquellas zonas donde la ocurrencia de buenas condiciones de oleaje y viento coincide con temperaturas por debajo de los  $10^\circ\text{C}$ .

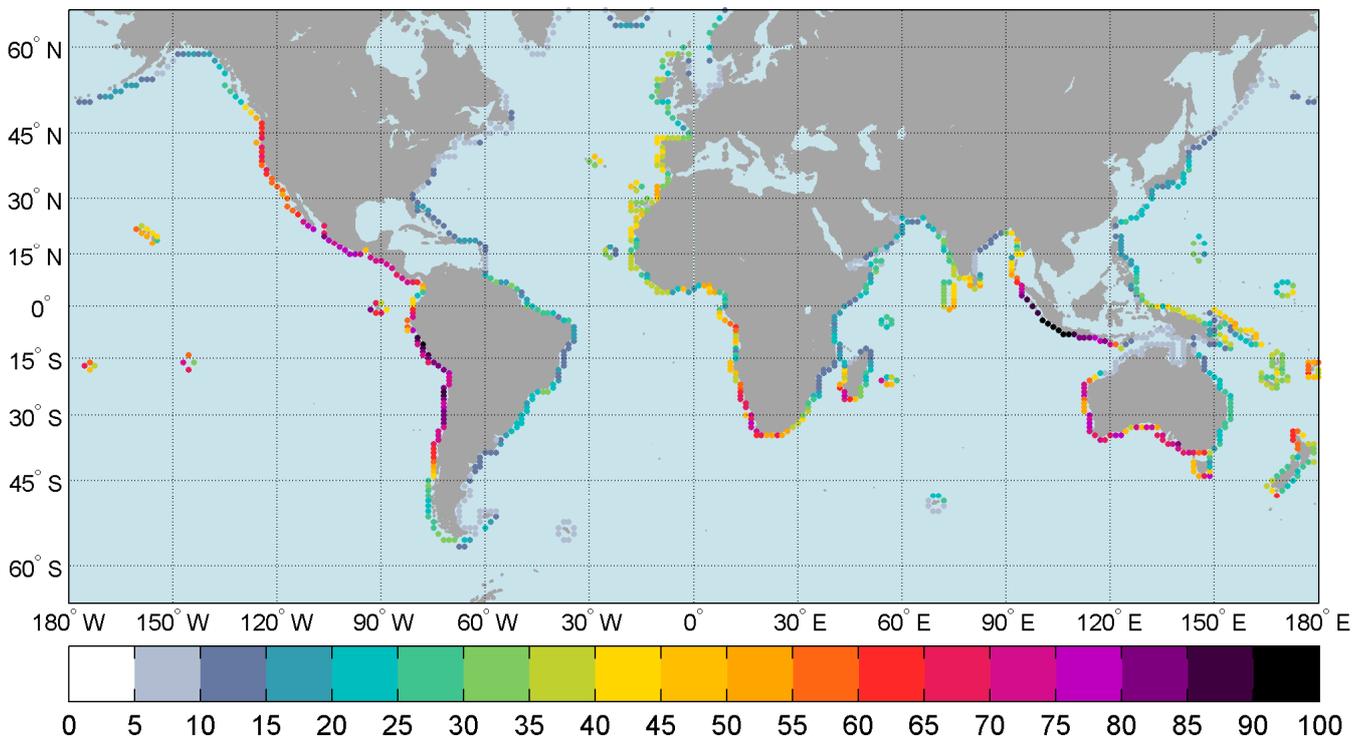


Figura 6.29. Distribución espacial de  $P_{high}[I_{cs} \cdot I_c]$ .

En términos absolutos, las zonas donde el  $I_c$  ejerce un efecto más negativo, son aquellas donde coexisten bajas temperaturas de la superficie del mar con bajas temperaturas de

la atmósfera, como por ejemplo la zona comprendida entre Japón y Estados Unidos, o la Tierra de Fuego, donde los valores de  $P_{high}[I_{cs} \cdot I_c]$  anual caen de un 40% a menos de un 5%. Evidentemente, para los residentes en zonas de clima frío, los cuales pueden estar relativamente habituados a las bajas temperaturas, la evaluación del recurso surf mediante el  $I_c$  puede ser poco relevante, pues son el oleaje y el viento los factores más determinantes. Sin embargo, si lo que se pretende es utilizar el recurso surf como reclamo turístico, el  $I_c$  ha de ser considerado para una correcta evaluación.

#### 6.5.4.1. Variabilidad estacional de las condiciones de surf de alta calidad, $P_{high}[I_{cs} \cdot I_c]$

Al considerar conjuntamente la variación en el oleaje, el viento y la temperatura, se obtiene un patrón más realista de cómo varían estacionalmente las condiciones de surf en el globo. En la figura 6.30 se muestra la variabilidad mensual de  $P_{high}[I_{cs} \cdot I_c]$ . Al comparar la figura 6.30 con la figura 6.26, pueden identificarse zonas donde a pesar de ocurrir con frecuencia oleajes y vientos dentro de los rangos considerados como favorables, estos coinciden o no con bajas temperaturas que afectan negativamente la experiencia del surf. De la figura 6.30 se extraen las siguientes conclusiones:

- La variable  $[SST + ST]/2$ , ejerce un claro efecto en la estacionalidad del recurso surf de alta calidad, este efecto es importante durante los inviernos respectivos de cada hemisferio, siendo más notable en el norte que en el sur, ya que por debajo de la latitud  $45^\circ S$ , a excepción de la Tierra de Fuego, e Islas Malvinas, la longitud de costa disponible es muy pequeña (ej. Islas Sanwich, Tierras Australes y Antárticas Francesas).
- En el Atlántico Sur, el efecto es claro en la Tierra de Fuego prácticamente durante todo el año. En Argentina, al sur de Río Negro, el recurso surf es nulo, ya que la ocurrencia de buenos oleajes es muy escasa y la temperatura del agua es inferior a los  $10^0 C$ .

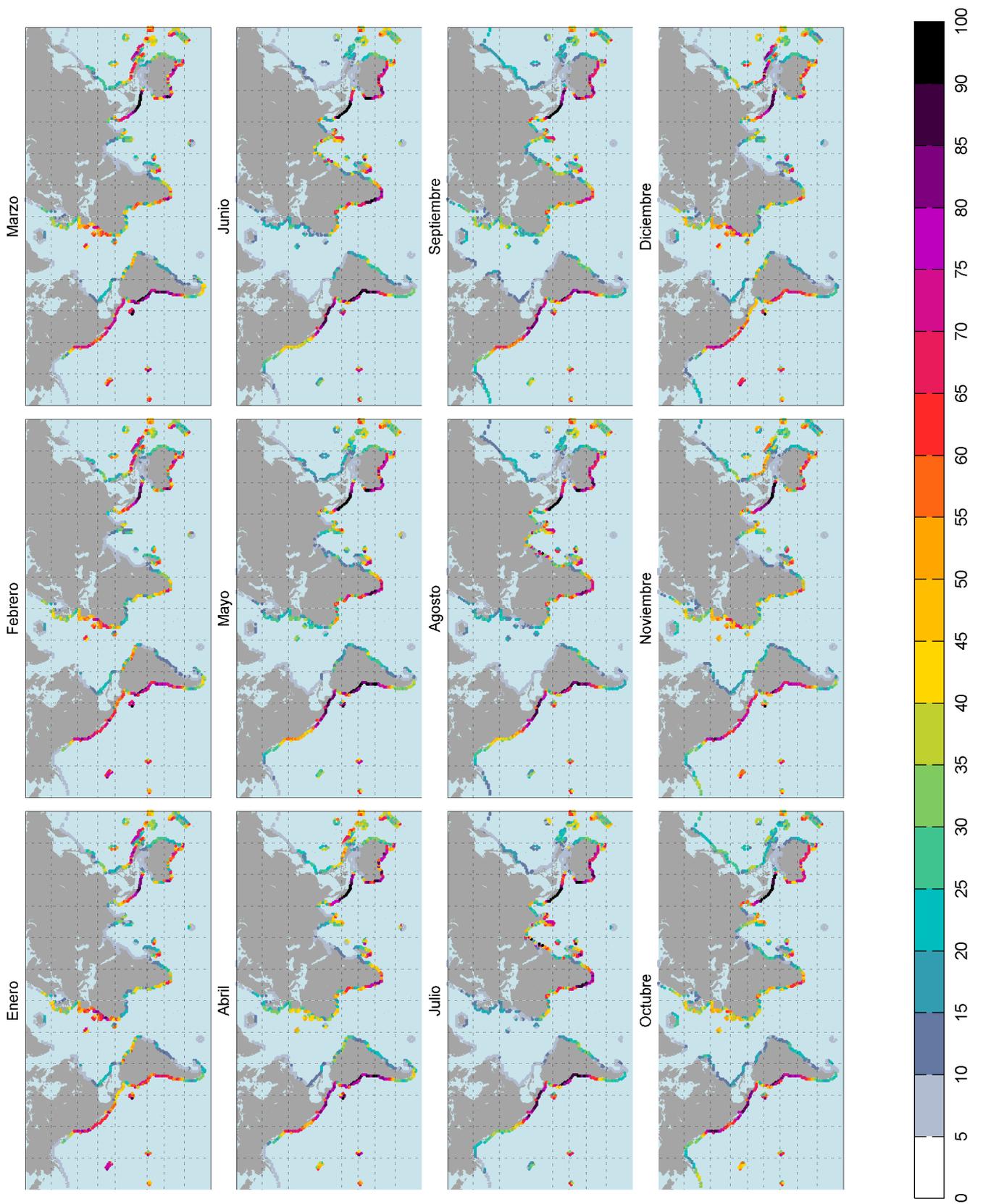


Figura 6.30. Variabilidad mensual de  $P_{high}[L_{cs}:L_c]$ .

- En el Atlántico Norte, el efecto térmico es especialmente intenso de Noviembre a Abril, siendo éste mayor en la margen occidental que en la oriental, disminuyendo el valor de  $P_{high}[I_{cs}:I_c]$  de un 40% a menos de un 5% en la costa este de Canada, y de un 65% a un 40% en el Cantábrico. En la costa oeste europea la Corriente del Golfo suaviza las temperaturas, por lo que  $P_{high}[I_{cs}:I_c]$  pasa de un 70 a un 40% (ej. Escocia y Noruega).
- Por último, destaca la costa oeste de Canadá y las Islas Aleutianas como zonas donde el recurso se ve limitado por la temperatura, disminuyendo en invierno de un 50% a menos del 5%.

### 6.5.5. Distribución espacial de las condiciones de surf definidas en función de *GSI*

El *Effective Index* incorpora las variables duración del día y velocidad de variación del nivel del mar dentro de la evaluación global de las condiciones de surf. El *Global Surf Index*, al tratarse de un índice estandarizado permite comparar de manera objetiva las condiciones de surf en distintos lugares, y lo que es más importante, estimar la disponibilidad de las mismas de una forma realista. Si se considera el surf como elemento de atracción turística, la evaluación del recurso ha de llevarse a cabo mediante el *Global Surf Index*, ya que este integra toda la información relevante.

La figura 6.31 muestra la distribución espacial de las condiciones de surf definidas en función del *GSI*.

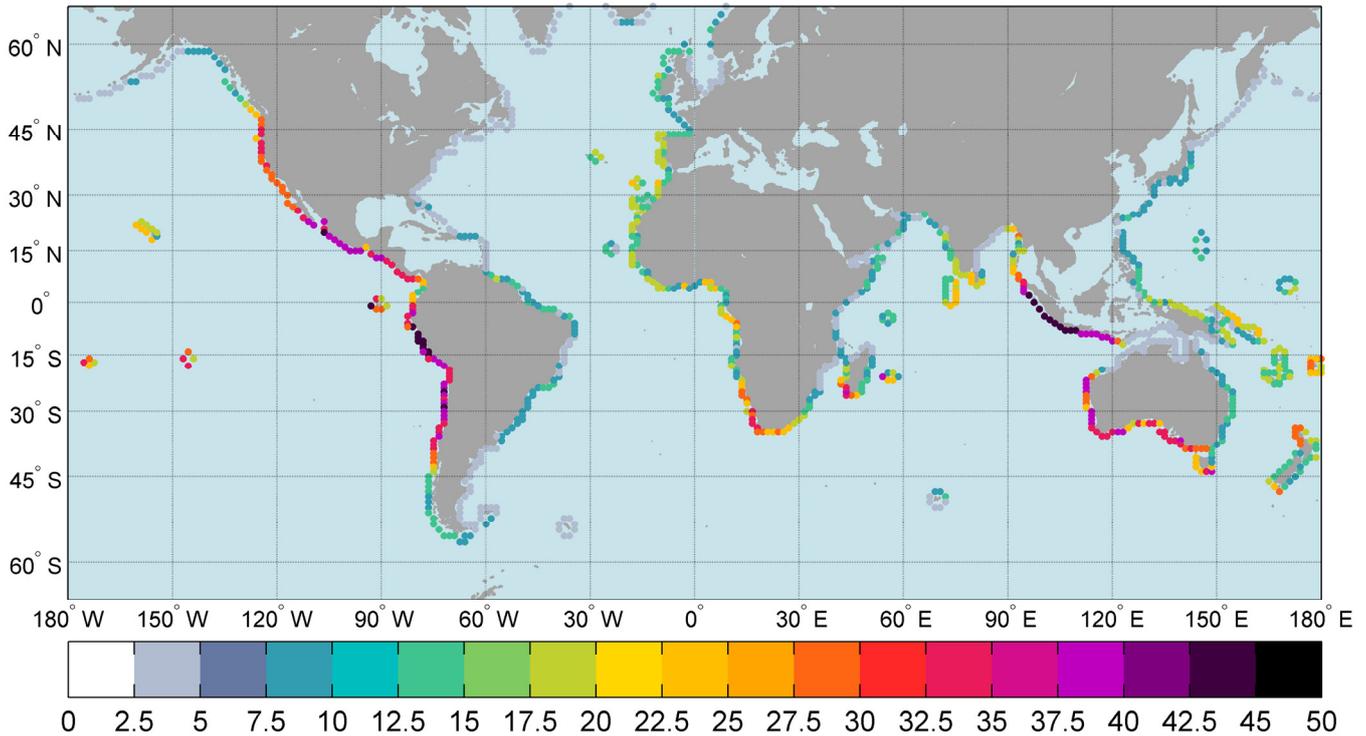


Figura 6.31. Distribución espacial de  $P_{high}[GSI]$ .

De la comparación de la figura 6.31 con la figura 6.30, se obtienen las siguientes conclusiones relativas a la disponibilidad de condiciones de surf de alta calidad.

- Como todas las zonas del planeta tienen una duración media de 12 horas, el valor de  $P_{high}[GSI]$  es aproximadamente la mitad del valor de  $P_{high}[I_{cs}I_c]$  en la mayoría de las latitudes, por lo que, el incluir la duración del día,  $I_{Day}$  en la evaluación global del recurso carece de un efecto significativo en la distribución media anual del mismo. Por este motivo la escala de colores de la figura 6.31 termina en 50%.
- La inclusión de  $I_{Tide}$ , tiene un claro efecto en aquellas zonas con carreras de marea superior a los 4 m, como: la placa continental de la Patagonia, parte del Cantábrico (Canal de Bristol y de la Mancha) y el Golfo de Alaska. De todas ellas, sólo el Norte del Cantábrico presenta valores altos de  $P_{high}[I_{cs}I_c]$ , por lo que el efecto de la marea es más notorio.