

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

6.5.5.1. Variabilidad estacional de las condiciones de surf de alta calidad, $P_{high}[GSI]$

Las variaciones estacionales del recurso surf de alta calidad definido en función del GSI permiten disponer de una gran cantidad de información de forma sencilla, facilitando elegir el mejor destino de surf en función de la época del año. En la figura 6.32 se muestra la variabilidad estacional del recurso surf efectivo.

Al incluir el I_{Day} en el cálculo de la probabilidad de ocurrencia mediante el GSI , la variabilidad estacional del recurso surf queda suavizada en todos los puntos analizados. Esto es debido a que aquellos lugares que sufren mayor variabilidad estacional de las condiciones de oleaje, viento y temperatura, la mayor parte de oleajes surfeables tienen lugar durante el invierno, cuando la duración del día es mínima. Por tanto, en aquellas latitudes superiores a 30° norte o sur, los valores de $P_{high}[GSI]$ de invierno y verano se ven equiparados. Este es el caso del norte de Europa, donde el tiempo medio mensual en el que es posible practicar del surf, pasa de un 30% en Diciembre a un 15% en Julio. Del mismo modo, en Sudáfrica, el $P_{high}[GSI]$ pasa de un 40% en el mes de Julio a un 30% en Diciembre.

Las zonas próximas al ecuador, donde no existen variaciones mensuales en la duración del día, muestran valores de $P_{high}[GSI]$ de aproximadamente la mitad que la calculada sin considerar el I_{Day} .

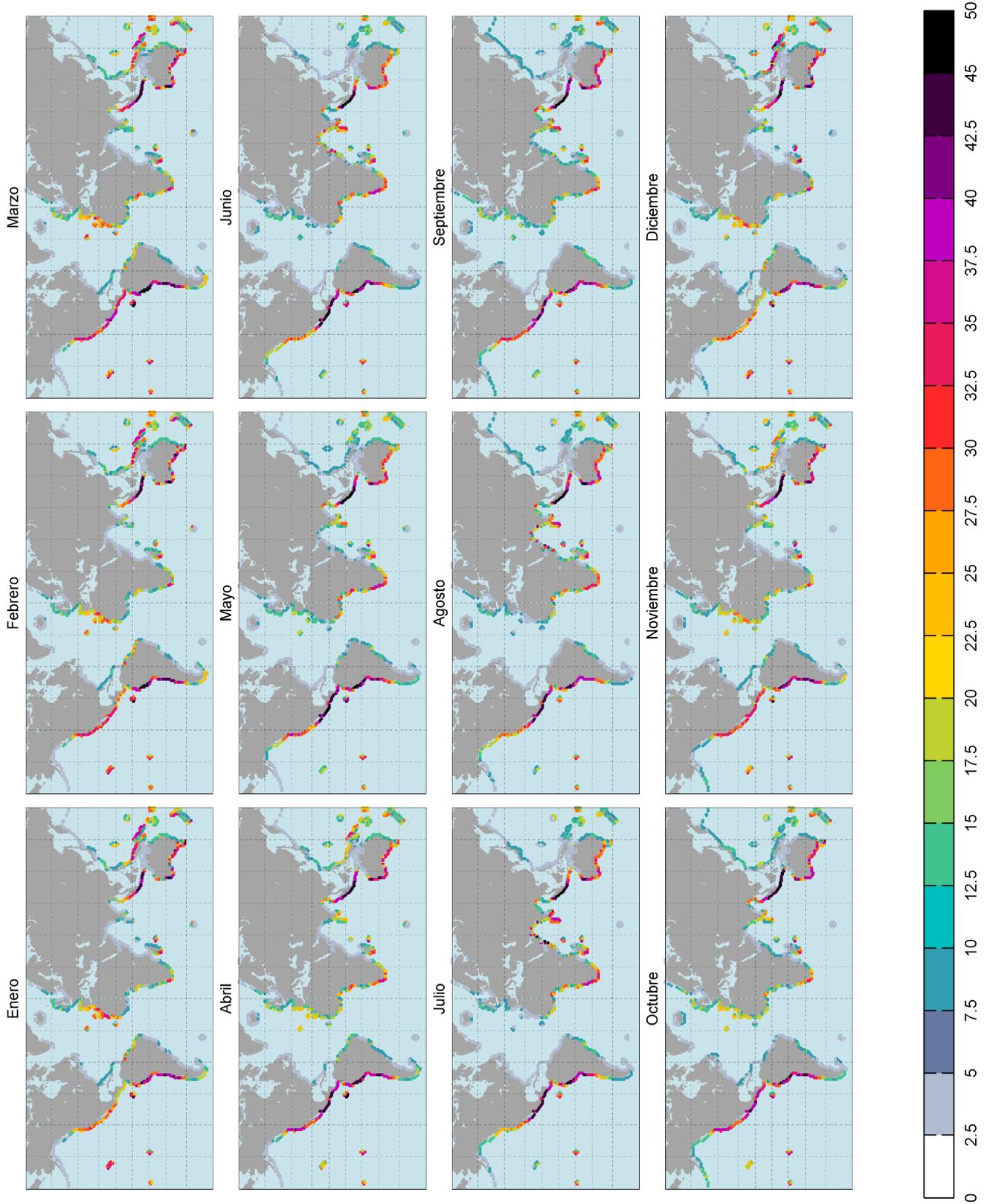


Figura 6.32. Variabilidad mensual de $P_{high}[GSI]$.

Con base en la figura 6.32, se pueden diferenciar cuatro tipos de costa según la variabilidad y la probabilidad de ocurrencia de condiciones de surf:

- **Costas poco consistentes:** son costas poco consistentes aquellas orientadas al este o situadas en latitudes muy elevadas. La costa este de Estados Unidos y Canadá, las Islas exteriores del Mar de Ojotsk y Bering o las costas de Mozambique, Tanzania y Somalia son zonas que apenas registran buenas condiciones de surf, y en ningún mes superan el 15% del tiempo.
- **Costas consistentes estacionalmente:** son costas consistentes estacionalmente aquellas que, aun presentando una baja probabilidad anual, en determinados meses presentan valores muy elevados. Son costas de este tipo, la costa norte de Hawai, con valores altos de $P_{high}[GSI]$ durante el invierno (40%), mientras que en verano no superan el 10%. Otro ejemplo de esta categoría es Marruecos o las Islas Canarias, con probabilidades superiores al 40% en invierno e inferiores al 5% en verano, o la costa norte de Nueva Guinea, que muestra altos valores de Diciembre a Marzo.
- **Costas medianamente consistentes:** son costas, generalmente orientadas al oeste, cuya latitud es superior a los 30° norte o sur. La principal característica de estas zonas es que se encuentran en las proximidades del área de generación de los oleajes en ambos hemisferios, por lo que durante el invierno sufren la severidad de los oleajes extremos, viento y bajas temperaturas, mientras que en verano, gozan de temperaturas más suaves y disponen de oleajes y vientos moderados que no llegan a incidir en zonas más alejadas. Este es el caso del norte de España, Irlanda e Inglaterra, o la costa oeste Africana con valores de $P_{high}[GSI]$ mensual alrededor del 30% durante todo el año.
- **Costas altamente consistentes:** son aquellas que presentan valores máximos de $P_{high}[GSI]$ durante prácticamente todo el año. Estas se encuentran en latitudes tropicales o ecuatoriales y siempre están orientadas al oeste. Destacan las costas de Indonesia, en primer lugar y de Chile y Perú. En menor medida, la costa oeste de Australia, y América Central. Estas son, a nivel mundial, las zonas que

mejores condiciones para el surf presentan, con disponibilidad del recurso en torno al 45%, lo que supone alrededor de 330 días ó 3960 horas de surf al año.

6.6. Variabilidad interanual de las condiciones de surf de alta calidad

Las variaciones interanuales en el recurso surf son un hecho constatable a lo largo de la historia de este deporte. El invierno de 1982-83, en las costas de Hawai y California (donde el deporte estaba ya muy arraigado) ocurrieron condiciones de surf excepcionales en relación a otros inviernos. Por aquel entonces, los aficionados al surf experimentaron un invierno con temperaturas anormalmente altas, lluvias torrenciales e inundaciones que destrozaron gran número de mansiones en las costas de Malibu. Pero también potentes *swells* incidiendo con dirección WSW que hacían que funcionaran rompientes que usualmente permanecían en calma. Aquel invierno, los *spots* comprendidos entre San Diego y Santa Bárbara, ofrecieron sesiones de surf de gran calidad con alturas de ola excepcionalmente grandes y vientos favorables.



Figura 6.33. Portadas de la revista Surfer (Junio y Julio 1983).

En la figura 6.33 se muestran las portadas de la revista “*Surfer*”, de los meses de Junio y Julio de 1983. En la primera se hablaba del mayor *swell* que golpeó California en dos décadas, con fotografías en su interior que muestran *spots* como Sandspits en Santa Bárbara rompiendo con olas de 20 pies (6.5 m). En la segunda, se hacía mención al mejor invierno de surf del siglo, con tormentas que barrieron diques, casas, pero que proporcionaron sesiones de surf épicas. Destacan también las sesiones con olas enormes en Waimea (Hawai), donde desde el invierno de 1969 no se recordaban tantos días de olas tan grandes.

Durante los últimos 50 años, se tiene constancia de al menos cinco inviernos memorables para el surf en las costas californianas. Destacan los inviernos de 1957-58, 1969-70, 1982-83, 1997-98 y 2009-10. En la figura 6.34 se muestra la serie temporal del índice El Niño3, desde Enero de 1949 a Diciembre de 2009, sobre ella se han señalado los años especialmente buenos para el surf en California. Puede observarse como todos coinciden con fases positivas (El Niño) del ciclo ENSO.

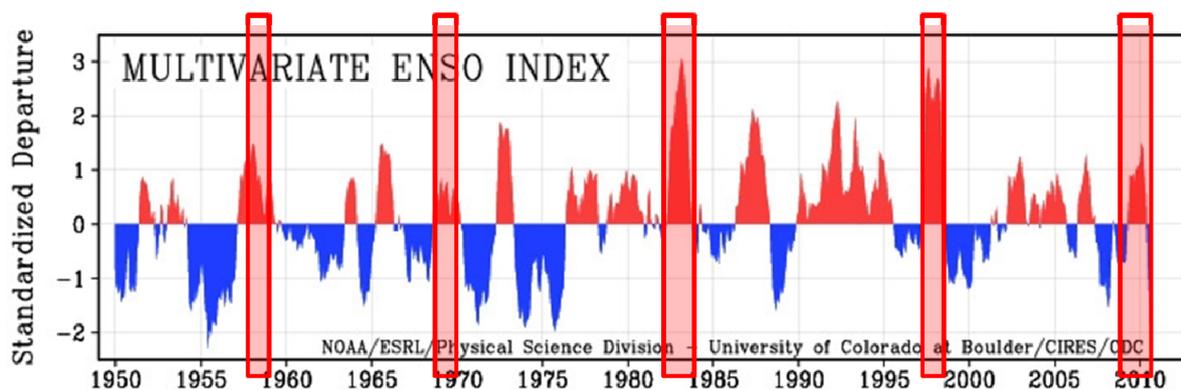


Figura 6.34. Serie temporal del índice Niño3. Se ha señalado inviernos destacables para el surf californiano. Fuente: NOAA.

Cambios en la severidad de los oleajes o en la dirección de los mismos han sido profundamente estudiados por diversos autores (Woolf *et al.*, 2002; Méndez *et al.*, 2006; Menéndez *et al.*, 2008), sin embargo no existe apenas información acerca de la variabilidad interanual de la disponibilidad del recurso surf, debido al carácter multivariado del mismo. Otros autores (Woolf *et al.*, 2002; Lionello y Sanna, 2005), relacionan cambios en el patrón de oleajes con cambios que ocurren en el sistema climático a mayor escala. Así, es posible, conocidas las anomalías en los campos de

presión, inferir ciertas variaciones en los parámetros generales que describen el oleaje, el viento o la temperatura.

Desafortunadamente la calidad del surf en California responde a las características batimétricas y orográficas locales, escala que la metodología planteada no resuelve. Del mismo modo, condiciones memorables para el surf no tiene porqué significar una alta ocurrencia de las mismas. Sin embargo, tal y como ocurre a escala local, cambios en el sistema atmósfera océano tienen consecuencias también en la disponibilidad de condiciones de surf a nivel global. Existiendo en algunas zonas como el Atlántico Norte, una alta relación entre las distintas situaciones sinópticas de la atmósfera y la disponibilidad del recurso.

En este apartado se presenta un estudio de la variabilidad interanual global de la probabilidad de ocurrencia de condiciones de surf de alta calidad. Para ello, se ha empleado un modelo de regresión lineal que correlaciona las anomalías puntuales de la probabilidad mensual con los valores que toman distintos índices climáticos, tanto globales (ENSO, SAM, AO), como regionales (NAO, EP/NP). Para el estudio de la variabilidad interanual se ha utilizado $P_{high}[I_{cs} \cdot I_c]$, sin considerar la parte efectiva, I_c , ya que la posible variabilidad en lo referente a la marea astronómica y la duración del día, no entran dentro de la escala temporal del análisis propuesto.

6.6.1. Modelo de regresión para la variabilidad interanual

Si se asume que la variabilidad interanual de la ocurrencia de eventos surfeables de alta calidad es causada por cambios en los patrones de circulación zonal de la atmósfera, analizar la correlación entre la serie temporal de anomalías de P_{high} y los distintos índices climáticos, permite entender el efecto que estas variaciones tienen en la distribución temporal del recurso.

La figura 6.35 es un gráfico de dispersión donde se representa el índice NAO frente a $P_{high}[I_{cs} \cdot I_c]$ normalizado en un punto del Cantábrico. Como puede apreciarse, puede establecerse una relación lineal entre ambas señales. Por tanto, es esperable una mayor probabilidad de condiciones de surf a medida que aumente el valor de este índice.

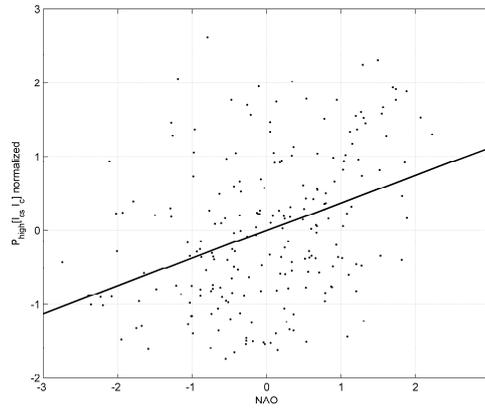


Figura 6.35. Correlación entre el índice NAO y $P_{high}[I_{cs}-I_c]$ normalizado en un punto del Cantábrico.

Una vez descritas las variaciones estacionales de las condiciones de surf, es posible conocer, para un mes del registro dado, la anomalía de P_{high} respecto a su valor medio. Así, para un punto dado, se tienen doce medias mensuales $\{\mu_1, \mu_{i,2}, \dots, \mu_{i,12}\}$, cada una con su varianza $\{\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_{12}\}$. Se define la anomalía mensual estandarizada de la probabilidad de ocurrencia, como:

$$\Delta_m(t) = \frac{P_{high,m}[GSI \geq 7] - \mu_m}{\sigma_m} \quad (6.6)$$

siendo el subíndice m , el identificador de cada mes.

El modelo utilizado para analizar la influencia de los diversos índices climáticos está basado en regresión lineal, relacionando cada índice climático con la variable normalizada para evitar la influencia de la estacionalidad. De esta manera, sólo se analiza la relación entre la anomalía de la señal y la variabilidad climática registrada por el índice. El coeficiente de regresión se ha determinado mediante mínimos cuadrados. Si la regresión es significativa estadísticamente (al 95%) se acepta que existe influencia del índice en la disponibilidad del recurso. A modo de ejemplo, se muestra la expresión que relaciona la disponibilidad del recurso con la oscilación del Atlántico Norte (NAO):

$$\Delta(t) = \beta_0 + \beta_{NAO} NAO(t) + \xi \quad (6.7)$$

donde $\Delta(t)$ es el valor esperado de la anomalía mensual de P_{high} , β es el vector de los parámetros de la regresión, siendo β_{NAO} la contribución relativa del predictor, $NAO(t)$, y ξ , un error aleatorio.

6.6.2. Influencia de los índices climáticos en la ocurrencia de las condiciones de surf de alta calidad

La circulación global de la atmósfera presenta un número de patrones preferenciales de variabilidad, los cuales tienen efectos en el clima de distintas regiones (temperatura, viento, oleaje). El clima marítimo de una determinada región puede variar en función de distintas teleconexiones que modulan la dirección y trayectoria de las borrascas. Entender la naturaleza de estas teleconexiones, los cambios en su comportamiento, es fundamental para entender la variabilidad climática (Hurrell *et al.*, 2005; Quadrelli y Wallace, 2004), que evidentemente está vinculada a la variabilidad de las condiciones de surf.

El análisis de las teleconexiones ha sido tradicionalmente abordado desde una perspectiva lineal, asumiendo que los patrones espaciales varían en forma de dipolo con fases negativas o positivas, pudiendo también variar la amplitud de las mismas (Hurrell *et al.*, 2005; Quadrelli y Wallace, 2004). Esta idea contrasta con la interpretación no lineal del comportamiento del clima, que identificaría anomalías climáticas preferenciales como estados recurrentes de una polaridad específica (Cassou y Terray, 2001) cuyos efectos en el oleaje, viento y temperatura no siguen un comportamiento rectilíneo.

Una teleconexión se define como un patrón espacial cuyo índice asociado (serie temporal) muestra cierta correlación (en amplitud y fase) con ciertas variables climáticas (ej. pluviometría, sequías, oleaje) que aparentemente no guardan relación, ya sea en la misma región o en otra diferente. Las teleconexiones son más perceptibles al analizar ciertas variables (SST , H_s) sobre un *grid* o rejilla que abarque todo el dominio de estudio. Se tiene constancia de la existencia de un gran número de teleconexiones, por lo que, la combinación de un pequeño número de patrones puede explicar gran parte de

la variabilidad climática de una región determinada. Quadrelli y Wallace (2004) encontraron que muchos de los patrones del Hemisferio Norte podrían ser reconstruidos como combinación lineal de los dos primeros modos de las funciones empíricas ortogonales (EOFs) de la presión atmosférica al nivel del mar (SLP). Estos modos de oscilación se correspondían aproximadamente con la Oscilación del Ártico y el patrón del Pacífico Este (PNA). Trenberth *et al.* (2005) a través de técnicas similares, encontró cuatro modos de oscilación globales que se correspondían con la SAM (Southern Annular Mode), la AO (Arctic Oscillation), la ENSO y la NP (North Pacific Oscillation). Los patrones de teleconexión suelen ser más prominentes durante los inviernos, especialmente en el Hemisferio Norte, cuando la circulación zonal de la atmósfera es más intensa, ya que en el Hemisferio Sur la variabilidad estacional es menor.

En este apartado se analiza la influencia en la disponibilidad de condiciones de surf de los patrones climáticos más representativos. Éstos, con su área de influencia se representan en la figura 6.36. En primer lugar se analiza la contribución del índice ENSO en $P_{high}[I_{cs}; I_e]$. Para explicar la variabilidad a gran escala de ambos hemisferios se han seleccionado los índices AO, para el Hemisferio Norte y SAM para el Hemisferio Sur. Para el Atlántico Norte se han seleccionado los índices NAO y EA. Para el Pacífico, se ha analizado la contribución del ENSO, PNA y WP, y para explicar la variabilidad interdecadal, el PDO. Finalmente, para el Índico, se ha analizado la contribución del DMI.

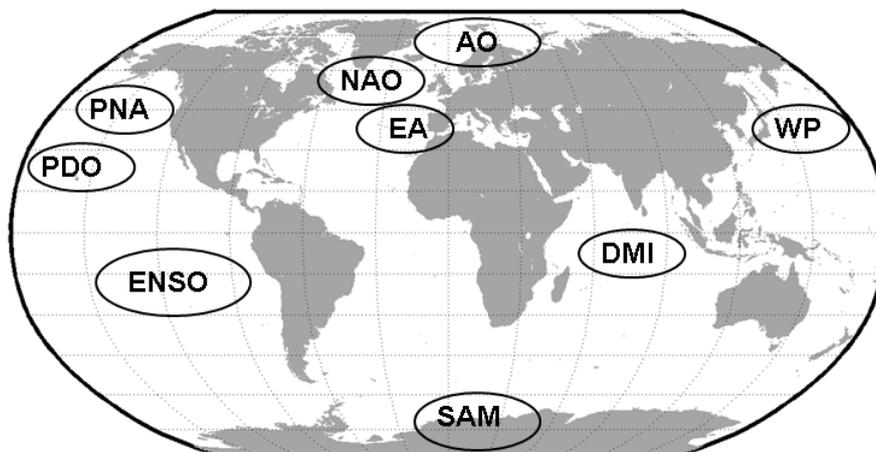


Figura 6.36. Patrones climáticos analizados.

6.6.2.1. Influencia de la Oscilación del Pacífico Sur (ENSO)

La figura 6.37 muestra la correlación lineal de la serie temporal de anomalías mensuales de $P_{high}[I_{cs} \cdot I_c]$ con el índice Niño3 (los puntos cuya correlación es significativa se marcan con un asterisco).

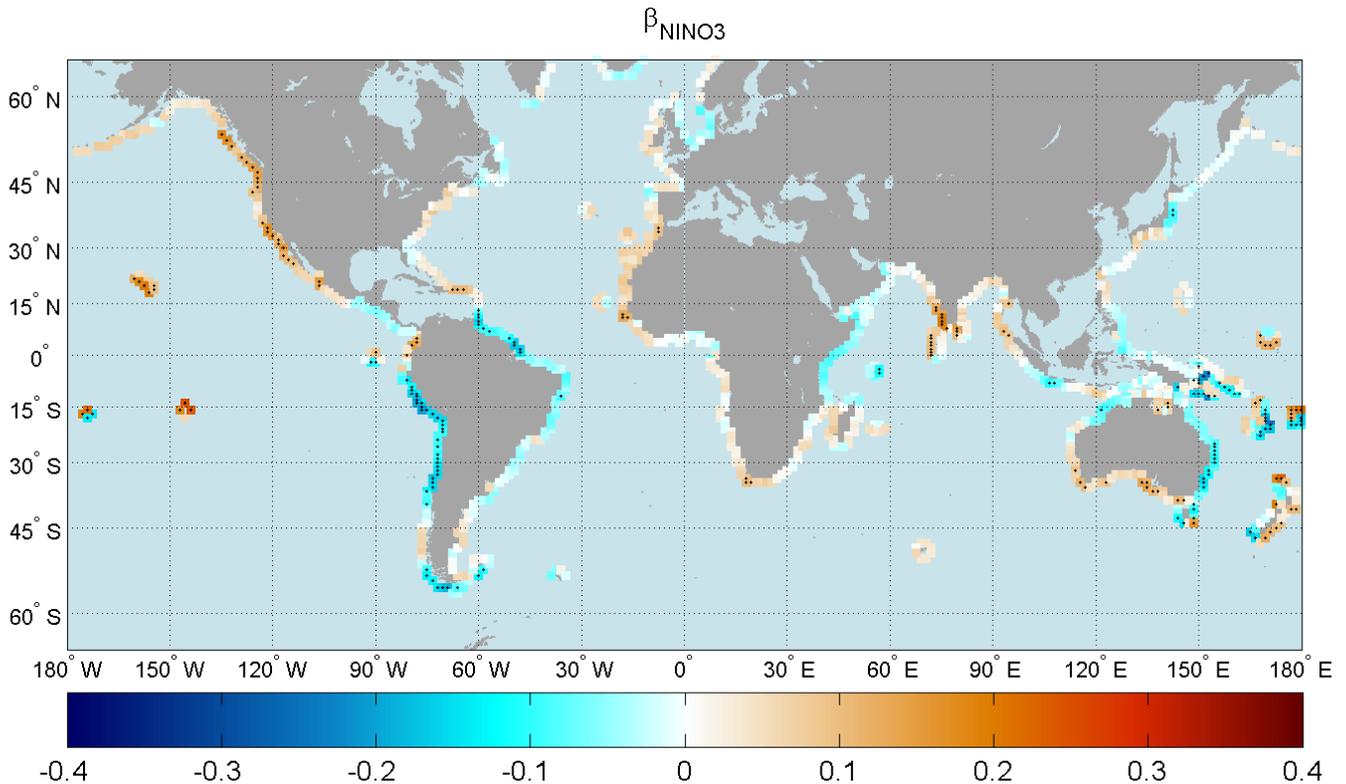


Figura 6.37. Correlación lineal de $P_{high}[I_{cs} \cdot I_c]$ con el índice el Niño3. Con asteriscos negros se resaltan los puntos cuya significancia es superior al 95%.

El ciclo ENSO (*El Niño Southern Oscillation*), consta de dos fases, La Niña y El Niño. El fenómeno de El Niño (fase cálida del ciclo) consiste en una interrupción drástica del patrón de vientos típico del Pacífico Sur. Es un fenómeno acoplado atmósfera-oceano, ya que la disminución en la intensidad de los vientos alisios hace que las corrientes oceánicas cambien (atenuación de la corriente de Humbolt). Cambios en la temperatura superficial del agua (SST) producen distribuciones anómalas de las altas y bajas presiones, de manera que se producen sequías en zonas húmedas y lluvias torrenciales en zonas secas. Al producirse estos cambios en la mayor masa oceánica del planeta, los efectos climatológicos de El Niño se extienden a nivel global (precipitaciones, temperaturas, ocurrencia de huracanes etc.). Diversos autores han relacionado este fenómeno con cambios en la intensidad y direccionalidad del oleaje (Gulev y Grigorjeva,

2004; Sasaki *et al.*, 2007; Menendez *et al.*, 2008; Hemmer *et al.*, 2010), a pesar de que estos cambios han sido suficientemente comprobados, su afección al surf es un tema todavía por analizar.

Como se aprecia en la figura 6.37, el ciclo ENSO tiene un efecto relativamente pequeño en lo que a la disponibilidad global de las condiciones de surf se refiere. El efecto más marcado aparece en la costa pacífica de Sudamérica y Australia, produciendo un leve detrimento de las horas de surf en estas zonas, donde la correlación es cercana al 0.2. El Niño tiene también un efecto negativo en $P_{high}[I_{cs} \cdot I_c]$ observado en la costa Atlántica ecuatorial de Sudamérica y este de Australia. En el resto de zonas, la influencia de este patrón no es significativa.

En California y Baja California, a pesar de que los resultados muestran una baja correlación ($\beta_{ENSO} = 0.2$), es sabido que, la fase positiva del ciclo ENSO produce una mayor calidad de las condiciones de surf, ya que la trayectoria de las borrascas en el Pacífico Norte se ve desplazada hacia el suroeste. Este hecho, produce un aumento en el periodo (disponibilidad de mayor *fetch*) y un cambio en la direccionalidad de los oleajes que llegan a producir incluso la rotación de la planta de algunas playas en California (Ranasinghe *et al.*, 2004). Como se explicó al principio de este apartado, la baja correlación obtenida en esta zona a pesar de las evidencias, radica en tres motivos: uno debido a que los efectos a nivel local no son considerados a esta escala espacial, un segundo motivo debido a que mejor calidad de los oleajes no implica mayor ocurrencia de los mismos, y un último y quizás más importante, que las modificaciones en el oleaje debidas a eventos de El Niño son producidas en ambos hemisferios, por lo que, debido a que los oleajes generados en el Hemisferio Sur son capaces de incidir en la mayoría de las costas del planeta (Snodgrass *et al.*, 1966), resulta difícil inferir claramente el efecto que este fenómeno ejerce en el valor de $P_{high}[I_{cs} \cdot I_c]$ en las costas del Pacífico Norte.

En el Atlántico Norte, la influencia del Niño es muy poco significativa, siendo la costa comprendida entre Venezuela y Brasil la más afectada, debido a la disminución de los vientos alisios en el Atlántico. En el suroeste de la India, se observa dominancia de los colores anaranjados, lo que puede significar un aumento de $P_{high}[I_{cs} \cdot I_c]$ durante la fase cálida del ENSO (intensificación del Monzón del Suroeste).

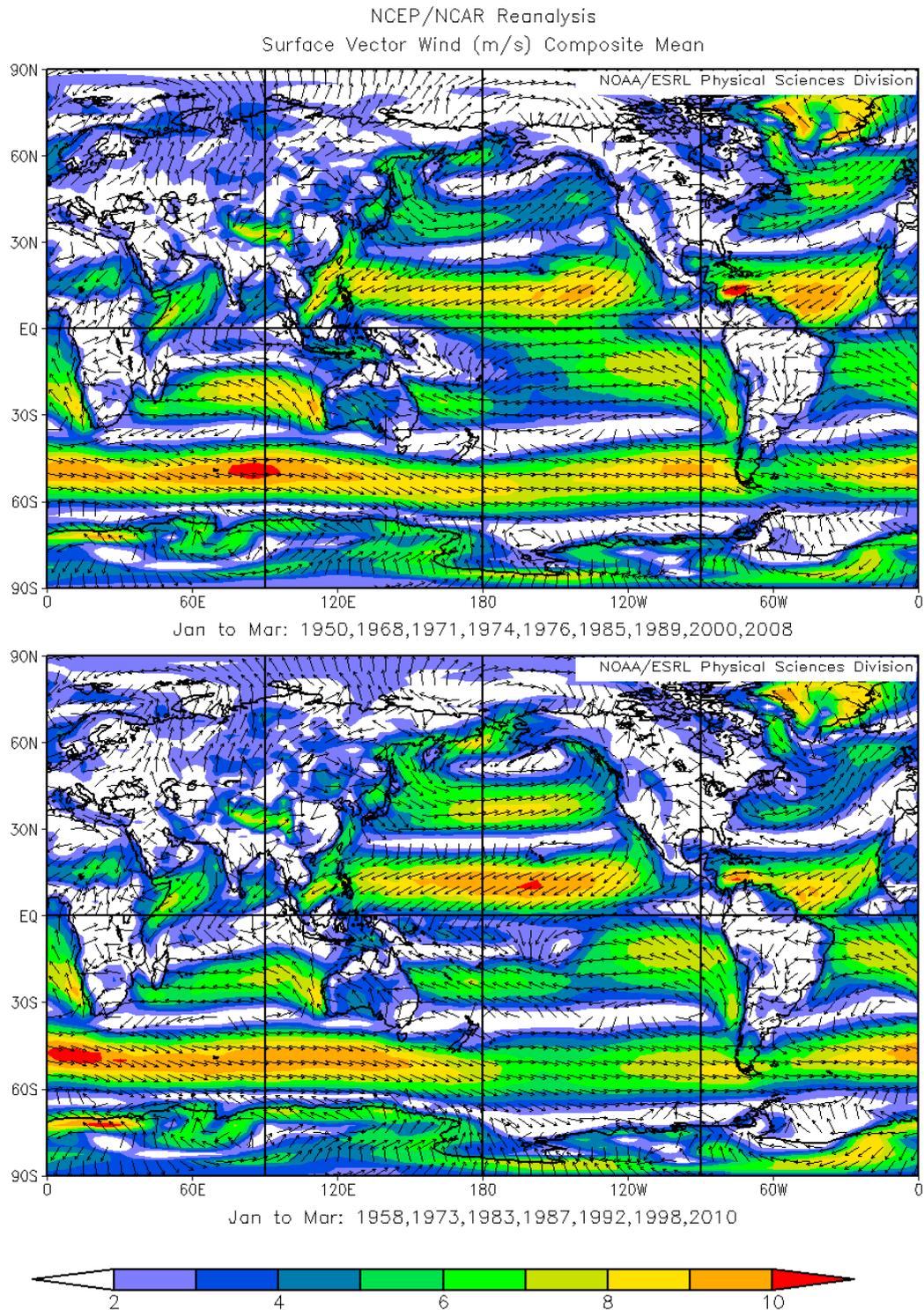


Figura 6.38. Vientos medios en superficie durante los inviernos Niño (abajo) y Niña (arriba). Fuente: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/cgi-bin/data/composites/printpage.pl>

En la figura 6.38 se muestran los vientos de superficie medios estacionales para los inviernos (Enero, Febrero, Marzo) cuyo índice Niño3 fue superior (Niño) e inferior (Niña) a la unidad. La principal diferencia entre ambos mapas es, por un lado, el debilitamiento del cinturón de vientos extratropical y tropical del Hemisferio Sur

ocurrido entre Nueva Zelanda y Sudamérica, lo que significa una menor incidencia de oleajes en Chile y Perú y la costa este de Australia. Por otro lado, se observa una intensificación del patrón de vientos del oeste en el Pacífico Norte, aumentando la ocurrencia de oleajes en la costa oeste de Estados Unidos, pero acompañados éstos por vientos de la misma dirección, lo cual, hace que el efecto neto en $P_{high}[I_{cs};I_c]$ no sea muy notable.

Aunque las teleconexiones climáticas asociadas al ENSO tienen un efecto global en el clima, no hay una relación perfecta entre los cambios sucedidos en la atmósfera y el océano como respuesta de el fenómeno de El Niño o La Niña, existiendo además variaciones interdecadales en las teleconexiones observadas en distintas regiones del planeta como por ejemplo la India, Argentina y el Caribe (Díaz *et al.*, 2001). Así, en cualquier zona se tendrá que además del ENSO, existirán otros procesos más locales que afecten al surf, por lo que este patrón solo explica parte de la variabilidad.

6.6.2.2. Influencia de la Oscilación del Ártico (AO)

La Oscilación del Ártico es uno de los ciclos climáticos de baja frecuencia más influyentes en el clima del Hemisferio Norte. La AO hace referencia a un dipolo en el patrón de presión atmosférica en latitudes medias y altas del Hemisferio Norte. Esta oscilación exhibe una fase negativa caracterizada por presentar altas presiones sobre la región polar (al norte de los $45^{\circ} N$), y una fase positiva en la cual, las altas presiones se sitúan en latitudes inferiores haciendo que las bajas presiones tomen trayectorias desplazadas hacia el norte. De manera que las regiones de Alaska, Escocia y Escandinavia registran climas más húmedos a la vez que el oeste de Estados Unidos y el Mediterráneo registran temporadas más secas.

La contribución de la AO en el surf es principalmente apreciable en el Atlántico Norte, haciendo que en función del valor de la misma, los oleajes incidan en una u otra parte de las costas Europeas y del norte de África. En la fase positiva de la AO, se produce una intensificación de los vientos del oeste en el Atlántico septentrional, lo que produce un aumento de $P_{high}[I_{cs};I_c]$ en la costa de Escocia y Noruega, mientras que limita la disponibilidad del recurso en la cara oeste de Irlanda y Sur de Inglaterra, debido a la

acción de los vientos *onshore*. En el Cantábrico y la costa de Portugal, la AO, explica parte de la ocurrencia de buenas condiciones de surf. Ya que la posición de las bajas presiones durante la fase positiva, produce *swells* del NW que, generalmente, inciden con vientos débiles en la costa. Si la AO toma valores superiores a 2 unidades, los vientos del oeste se ven tan intensificados que la calidad del surf comienza a decrecer, por lo que la correlación lineal aumenta la significancia en la zona del País Vasco, generalmente fuera de la acción de los vientos. La temperatura del aire en el Cantábrico es también un factor determinante durante la fase negativa de este índice, ya que por la posición que toma el anticiclón en el norte de Europa, son frecuentes vientos polares del norte, restando calidad a las condiciones de surf.

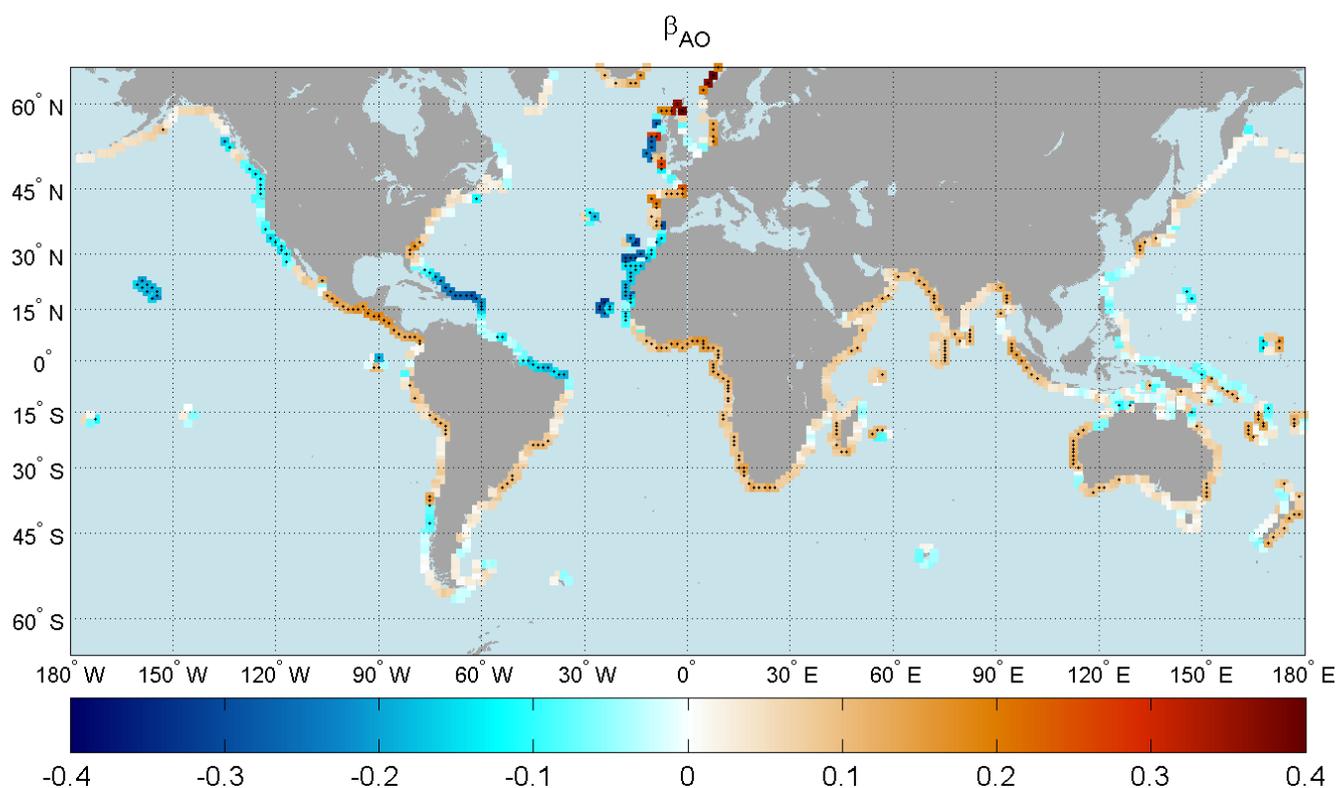


Figura 6.39. Correlación lineal de $P_{high}[I_{cs} \cdot I_c]$ con el índice AO. Con asteriscos negros se resaltan los puntos cuya significancia es superior al 95%.

La fase negativa de la AO se caracteriza por la ocurrencia de borrascas desplazadas a latitudes inferiores ($30^{\circ} N$), por lo que el oleaje producido viaja con dirección SW o WSW, de manera que aumenta la ocurrencia de condiciones de surf en el Golfo de Cádiz. Estos oleajes inciden muy debilitados en la costa norte española, sin embargo son capaces de llegar a las costas de Irlanda, proporcionando *swells* suficientemente energéticos, con vientos débiles. En Canarias, Marruecos y el Caribe, debido a la mayor

cercanía de las borrascas ocurridas durante la fase negativa de la AO hace que el recurso surf se vea incrementado, pues se registran alturas de ola mayores de lo habitual.

En el Pacífico Norte, valores muy positivos de la AO producen una reducción en la ocurrencia de borrascas, por lo que las condiciones de surf se ven mermadas en las costas de Hawái, California y México.

En el Hemisferio Sur, valores muy positivos de la AO producen un incremento de la intensidad de los vientos del oeste, aumentando la surfeabilidad en toda esta parte del globo excepto en la Tierra de Fuego ya que se encuentra dentro del área de generación del oleaje.

6.6.2.3. Influencia de la Oscilación Antártica (AAO ó SAM)

El equivalente de la AO en el Hemisferio Sur es la AAO (*Antartic Oscillation*) o SAM (*Southern Annular Mode*). Esta oscilación de baja frecuencia y persistente en el tiempo, representa la anomalía normalizada entre la presión zonal superficial, entre los $40^{\circ} S$ y $60^{\circ} S$. Como es de esperar, debido a la ausencia de grandes masas continentales en estas latitudes, el patrón de presión atmosférica en la Antártida tiene forma de anillo, con una zona de altas presiones en el Polo Sur rodeada de un cinturón de bajas presiones. Este patrón, por tanto, rige la intensidad de los vientos zonales subantárticos que ocurren entre los $40^{\circ} S$ y $55^{\circ} S$, siendo estos más intensos durante las fases positivas del índice (Goose *et al.*, 2005).

Debido a que durante la fase positiva del SAM, el cinturón de vientos del oeste se ve intensificado, $P_{high}[I_{cs} \cdot I_c]$ se ve incrementado en todo el Hemisferio Sur, a excepción de aquellas zonas que se encuentren dentro del área de acción de los vientos del oeste.

Cabe destacar el aumento de las condiciones de surf que experimentan las costas orientadas al SW de Nueva Zelanda y Australia, con correlaciones cercanas al 0.4, esto es debido a un cambio en la direccionalidad del oleaje asociado a este índice climático (Goodwin, 2005). La contribución al surf de este patrón, es también positiva en el

Pacífico Norte, ya que esta zona está expuesta a los *groundswells* de alto periodo generados en el Hemisferio Sur.

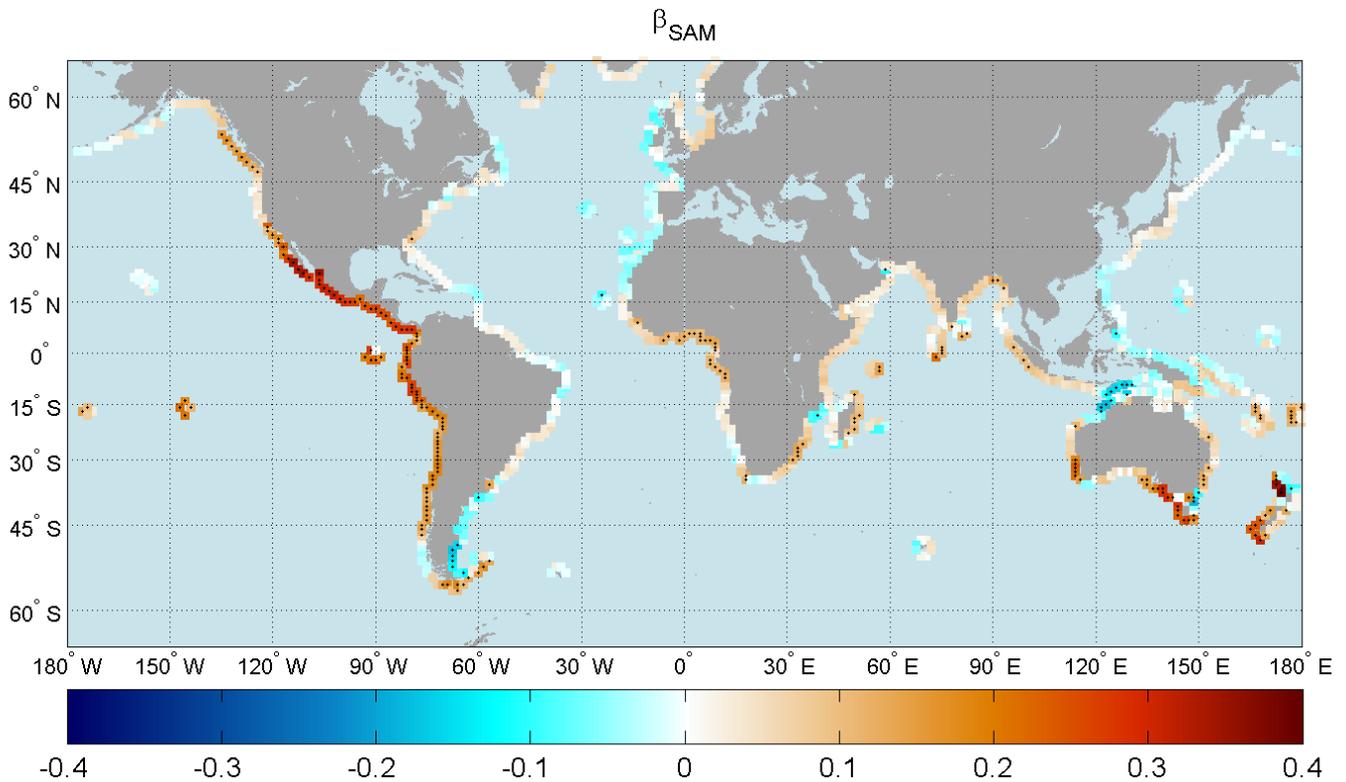


Figura 6.40. Correlación lineal de $P_{high}[I_{cs} \cdot I_c]$ con el índice SAM. Con asteriscos negros se resaltan los puntos cuya significancia es superior al 95%.

6.6.2.4. Influencia de la Oscilación del Atlántico Norte (NAO)

La circulación de gran escala en latitudes medias del Atlántico Norte se caracteriza por los vientos del oeste generados por las diferencias de presión entre el Anticiclón de las Azores y el centro de bajas presiones de Islandia. Este dipolo de presión norte-sur, conocido como la Oscilación del Atlántico Norte (NAO), es en cierta forma un indicador de la intensidad de los vientos del oeste, siendo esta mayor que la media durante la fase fluida (NAO+) e inferior durante la fase bloqueada (NAO-). Este patrón está presente durante todo el año (Barnston y Livezey, 1987), modulando el oleaje incidente en el norte de Europa siendo, sin embargo, más notable durante el invierno.

La NAO, junto con la AO y la EA (*East Atlantic Oscillation*), es uno de los índices más influyentes para el surf en el Atlántico Norte, de hecho, estos tres índices guardan cierto

grado de correlación, especialmente durante los meses de invierno (Marshall *et al.*, 2001; Thompson y Wallace, 2001; Visbeck *et al.*, 2003; Deser, 2000; Ambaum *et al.*, 2001, 2002). La NAO, a diferencia de la AO, es un patrón altamente dinámico, pudiendo variar en distintas escalas temporales que van desde los pocos días al mes. Por este motivo, en lo relativo al surf, la NAO marca tan solo la presencia de bajas presiones al norte de la latitud $45^{\circ} N$, (Serreze *et al.*, 1997; Deser *et al.*, 2000) y altas presiones sobre las Azores. Esta situación sinóptica genera una mayor actividad de los vientos del oeste, que no solo favorecen la generación de oleajes del NW que inciden finalmente en las costas Europeas, sino que además, es responsable de que los inviernos sean más cálidos en latitudes medias y altas. Con valores positivos de la NAO las probabilidades de encontrar buenas condiciones de surf en el Cantábrico y Portugal aumentan en torno al 40%, al igual que en el norte de Escocia y Noruega. En Irlanda, sin embargo, ocurre lo contrario, siendo menos probable la ocurrencia de buenas condiciones de surf a medida que la NAO se intensifica.

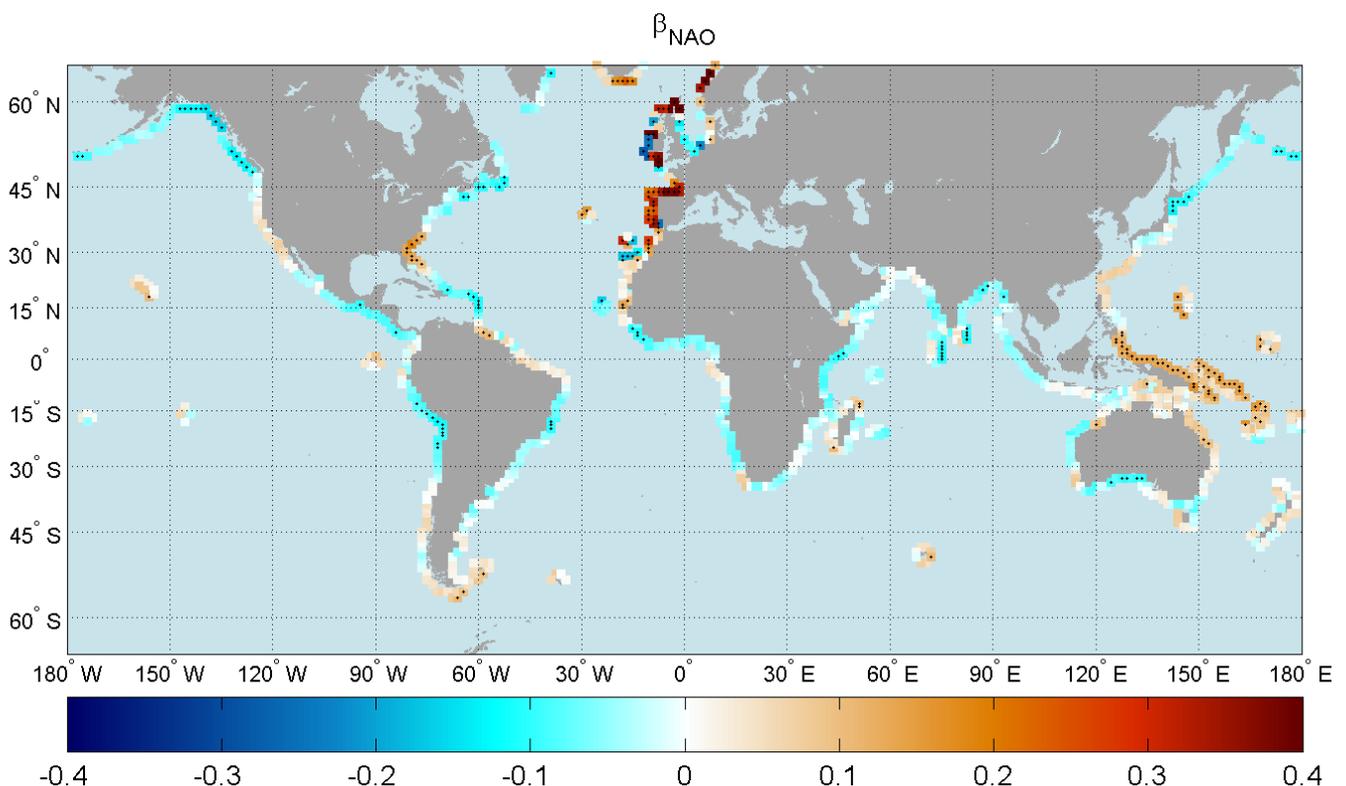


Figura 6.41. Correlación lineal de $P_{high}[I_{cs}-I_c]$ con el índice NAO. Con asteriscos negros se resaltan los puntos cuya significancia es superior al 95%.

La fase positiva de la NAO significa, por otro lado, la intensificación del anticiclón de las Azores, o lo que es lo mismo, mayor velocidad de los vientos del NE sobre la cara norte

de las Islas Canarias, lo cual, resta calidad a las condiciones de surf. En las costas de Marruecos, en torno la latitud $30^{\circ} N$, los alisios toman dirección *offshore*, lo cual, combinado con intensos oleajes del NW, propagados más de 3000 km, contribuyen al aumento de la persistencia de buenas condiciones de surf. En las costas atlánticas de Estados Unidos y Canadá, la NAO no contribuye significativamente a la persistencia de buenas condiciones de surf, obteniendo menos de un 0.1 en el coeficiente de correlación.

Llama la atención la correlación significativa que muestran las condiciones de surf en Nueva Guinea y Filipinas, con mayores probabilidades en fase fluida de la NAO.

6.6.2.5. Influencia de la Oscilación del Atlántico Este (EA)

El patrón del Atlántico Este es el segundo modo de variabilidad de baja frecuencia más probable sobre el Atlántico Norte, estando presente durante todo el año. Este patrón, estructuralmente similar a la NAO, consiste en un dipolo desplazado hacia el sureste de anomalías en la presión atmosférica superficial. La fase positiva de la EA está asociada a un aumento de la temperatura en toda Europa y a un descenso de las mismas al este de Estados Unidos y Canadá.

Como muestra la figura 6.42, valores positivos de la EA aumentan la probabilidad de encontrar buenas condiciones de surf en toda la vertiente oeste del continente Europeo y norte de África, exceptuando el norte de Francia. A diferencia de la AO y la NAO, las cuales generan un dipolo norte y sur en el valor de $P_{high}[I_{cs} \cdot I_c]$, la situación sinóptica que caracteriza la EA, coincide con el centro de bajas presiones situado entre Islandia e Irlanda, mientras que éste se sitúa entre Groenlandia e Islandia con fases positivas de la NAO. Esta situación hace que el anticiclón de las Azores se sitúe sobre las islas Canarias, por lo que los alisios al norte de la latitud $30^{\circ} N$ se ven debilitados, aumentando la probabilidad de encontrar buenas condiciones de surf también al sur del Estrecho de Gibraltar.

La mayor correlación de $P_{high}[I_{cs} \cdot I_c]$ con este índice aparecen en el Cantábrico, ya que la localización de las borrascas genera vientos del SW combinados con oleajes moderados del WNW-NW y altas temperaturas, contribuyendo de este modo al valor de $P_{high}[I_{cs} \cdot I_c]$

en el norte de España. Esta situación no favorece la disponibilidad de condiciones de surf en la cara oeste de Galicia y el sur de Irlanda (vientos *onshore* del SW), como tampoco en el norte de Escocia y Noruega (falta de oleaje).

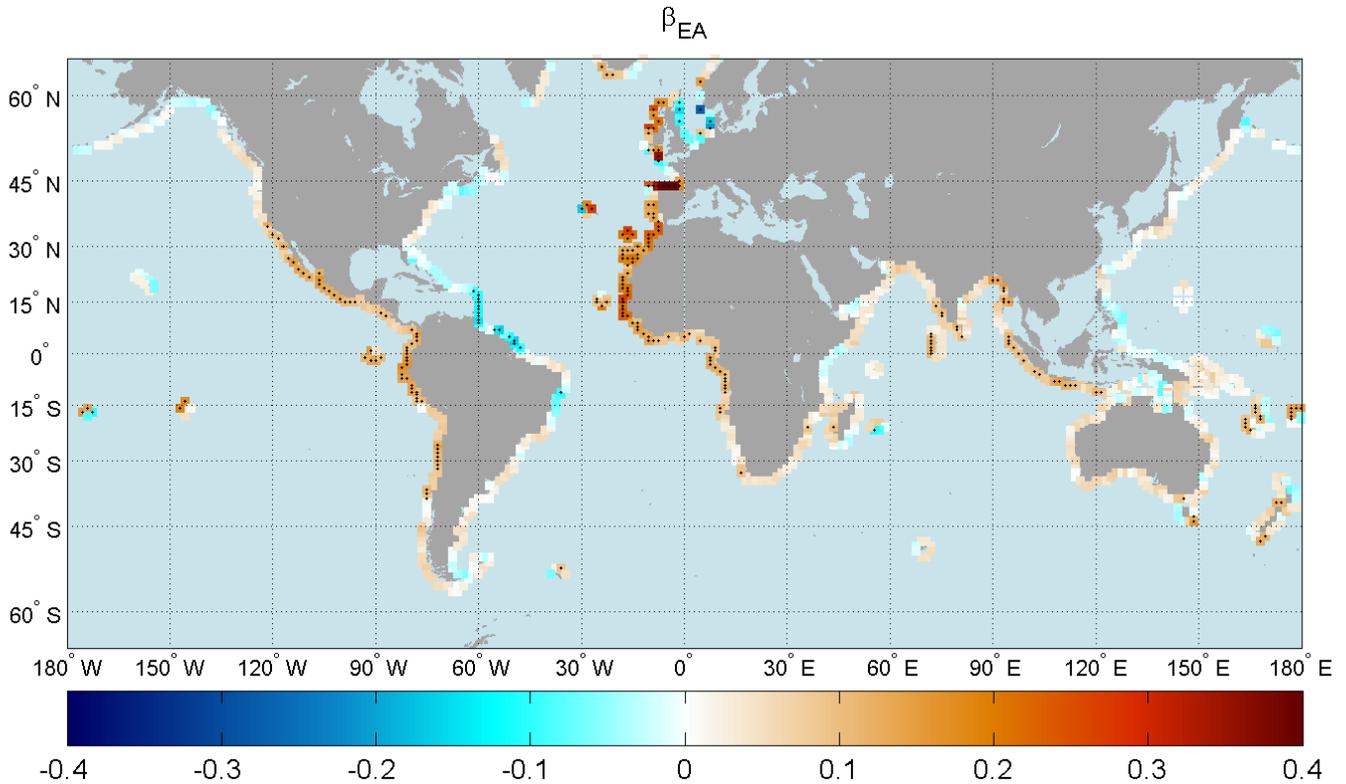


Figura 6.42. Correlación lineal de $P_{high}[I_{cs}-I_e]$ con el índice EA. Con asteriscos negros se resaltan los puntos cuya significancia es superior al 95%.

6.6.2.6. Influencia de la Oscilación del Pacífico Este (PNA)

El patrón PNA (*Pacific North America Index*) es uno de los modos de variabilidad de baja frecuencia más prominentes en el Pacífico extratropical, especialmente durante el invierno (Wallace y Gutzler, 1981).

La fase positiva de este índice presenta cuatro centros diferenciales de presión atmosférica, especialmente notables a la altura geopotencial de 500 mb, dos centros de bajas presiones localizados, uno al sur de las islas Aleutianas y otro sobre el Golfo de México, y dos centros de altas presiones localizados uno sobre Hawai y otro sobre California y Canadá. Aunque el PNA es un patrón regional, éste está fuertemente

influenciado por la oscilación del sur (ENSO), estando la fase positiva relacionada con la ocurrencia de eventos de El Niño y la fase negativa con La Niña.

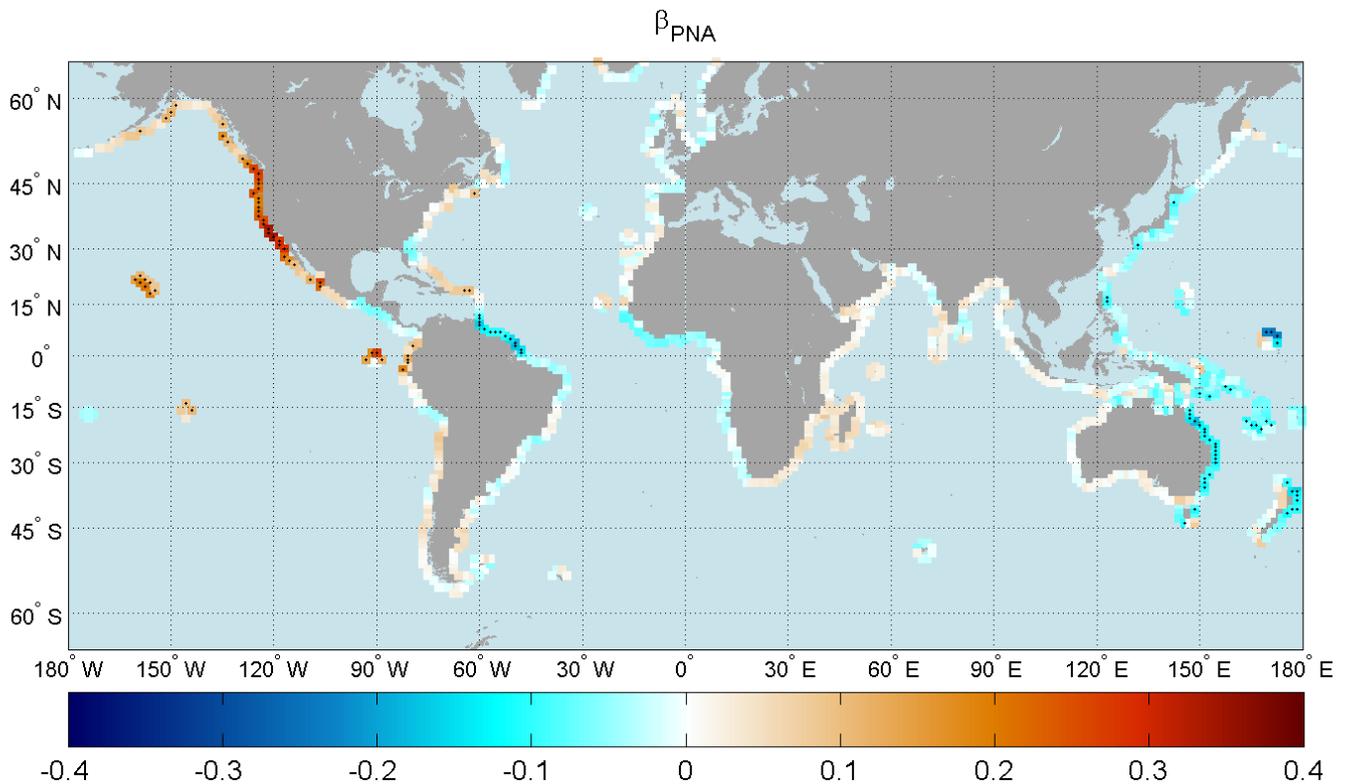


Figura 6.43. Correlación lineal de $P_{high}[I_{cs} \cdot I_c]$ con el índice PNA. Con asteriscos negros se resaltan los puntos cuya significancia es superior al 95%.

El PNA contribuye positivamente en la costa oeste de EE.UU., Canadá y Hawai, ya que este patrón está vinculado al incremento de la actividad de los vientos del oeste, al norte de los 30° N, permitiendo que el anticiclón genere vientos del ENE en Hawai (*offshore* para muchas rompientes de la *North Shore*) y del NE entre Santa Bárbara y San Diego, donde también se registran temperaturas por encima de la media, por lo que la contribución es máxima.

La fase negativa del PNA se relaciona con un desplazamiento hacia el este de las bajas presiones Aleutianas y el consiguiente debilitamiento de los vientos del oeste. La fase negativa contribuye positivamente en ciertas zonas del Pacífico oriental como las islas Marshall o las Marianas.

6.6.2.7. Influencia de la Oscilación del Pacífico Oeste (WP)

El WP es un modo de oscilación de baja frecuencia del Pacífico Norte presente durante todos los meses del año. Durante el invierno y la primavera, la fase positiva de este patrón, consiste en un dipolo norte-sur con un centro de bajas presiones localizado sobre la Península de Kamchatka y un centro de altas presiones sobre el Pacífico Subtropical. Esta situación sinóptica favorece la generación de oleajes que se propagan en dirección NE en el Pacífico oriental, incrementando el $P_{high}[I_{cs} \cdot I_c]$ en la costa sur de Japón, las islas exteriores del Mar de China Oriental, Filipinas, Nueva Guinea e Islas Salomón.

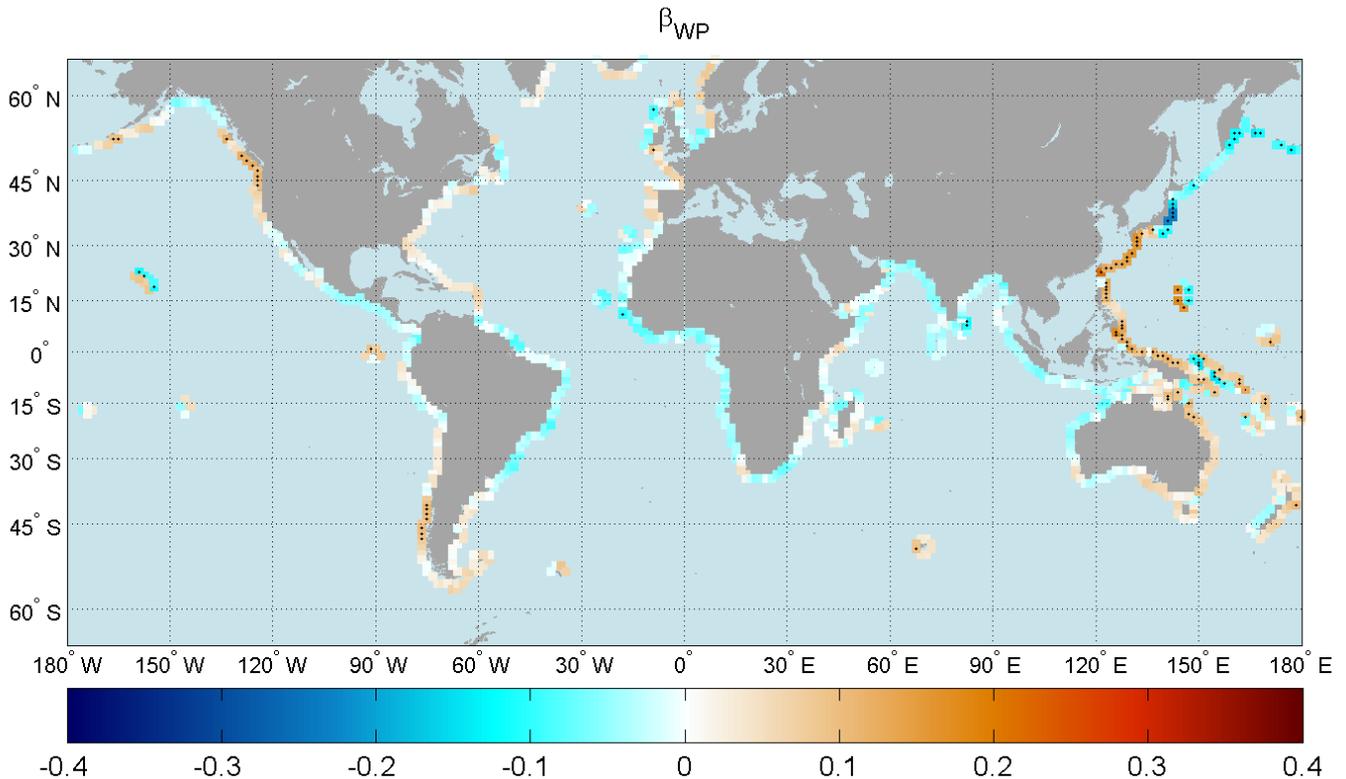


Figura 6.44. Correlación lineal de $P_{high}[I_{cs} \cdot I_c]$ con el índice WP. Con asteriscos negros se resaltan los puntos cuya significancia es superior al 95%.

El incremento de $P_{high}[I_{cs} \cdot I_c]$ en la parte ecuatorial de esta región del Pacífico, también es debido a los *windswells* generados por la acción de los vientos alisios. Por ese motivo, en las islas Marianas, el recurso surf sólo se ve incrementado en su cara este. Parte de los oleajes procedentes del ENE llegan también a incidir en el norte del estado de Queensland, Australia. En las islas exteriores del Mar de Ojotsk y noreste de Japón, las

condiciones de surf se ven mermadas debido por un lado a la acción del los vientos *onshore* y a las bajas temperaturas asociadas a la fase positiva del WP.

6.6.2.8. Influencia de la Oscilación Dipolar del Índico (DMI)

La figura 6.45 muestra la correlación lineal de la serie temporal de anomalías de $P_{high}[I_{cs} \cdot I_c]$ con el índice DMI (IOD ó IOZM). El cual, esta íntimamente relacionado con la distribución de la temperatura superficial del agua en el océano Índico, siendo más prominente durante el otoño e invierno boreal.

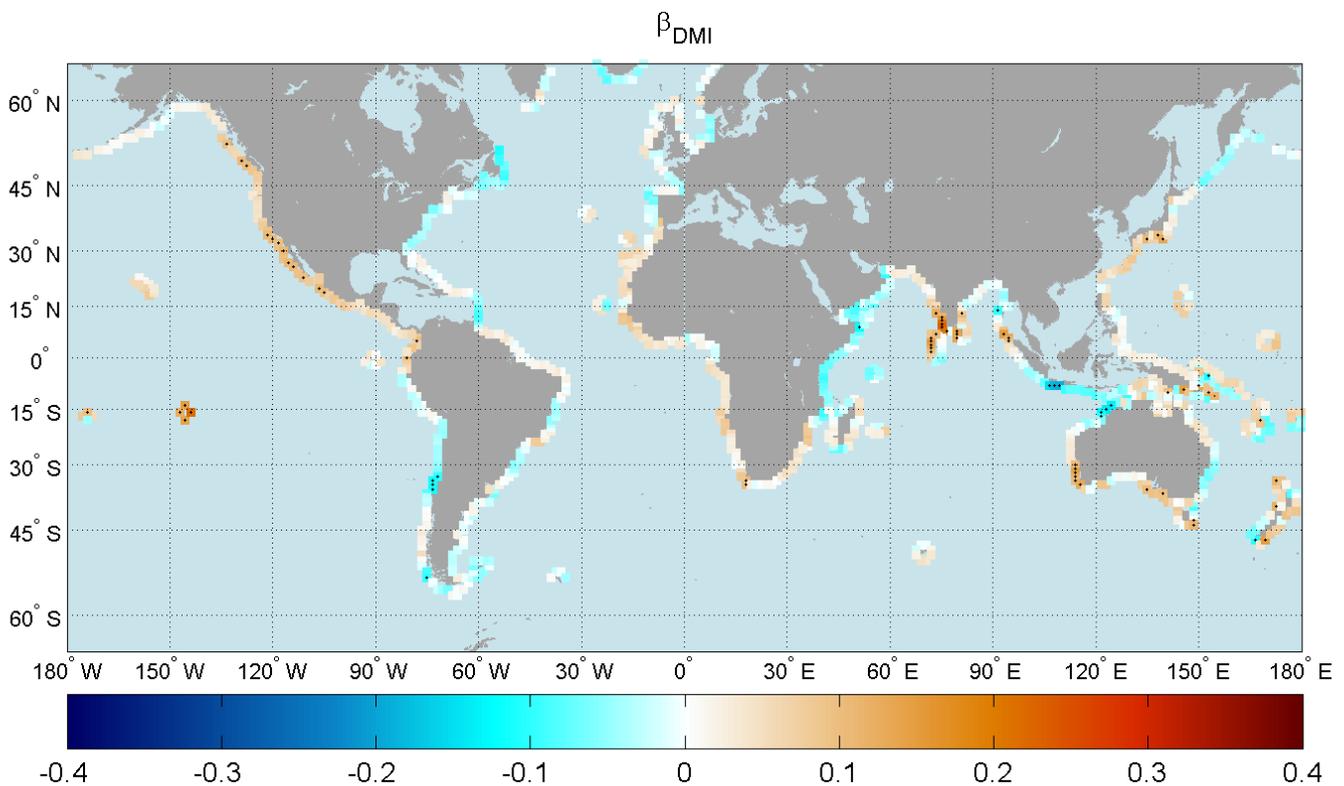


Figura 6.45. Correlación lineal de $P_{high}[I_{cs} \cdot I_c]$ con el índice DMI. Con asteriscos negros se resaltan los puntos cuya significancia es superior al 95%.

Este patrón, asociado a un incremento de los vientos ecuatoriales del este, provoca un aumento en la SST en la zona de Somalia, y un enfriamiento en las aguas de Sumatra. Por este motivo, durante la fase positiva del DMI, el Mozón del Suroeste toma más fuerza, lo cual contribuye al aumento de $P_{high}[I_{cs} \cdot I_c]$ en la cara oeste de la India e islas Maldivas. Durante la fase negativa de este índice, el gradiente de temperatura entre el mar cálido

de Timor y las aguas frías de Sumatra genera cambios en la dirección del viento (Ummenhofer *et al.*, 2009), perjudicando las condiciones de surf en el SW de Indonesia.

La contribución de este patrón en el Índico es muy similar al generado durante la fase cálida de la ENSO, de hecho, numerosos eventos positivos del DMI han ocurrido simultáneamente con eventos de El Niño (Allan *et al.*, 2000).

6.6.2.9. Influencia de la Oscilación Decenal del Pacífico (PDO)

La figura 6.46 muestra la correlación lineal de la serie temporal de anomalías de $P_{high}[I_{cs} \cdot I_c]$ con el índice PDO.

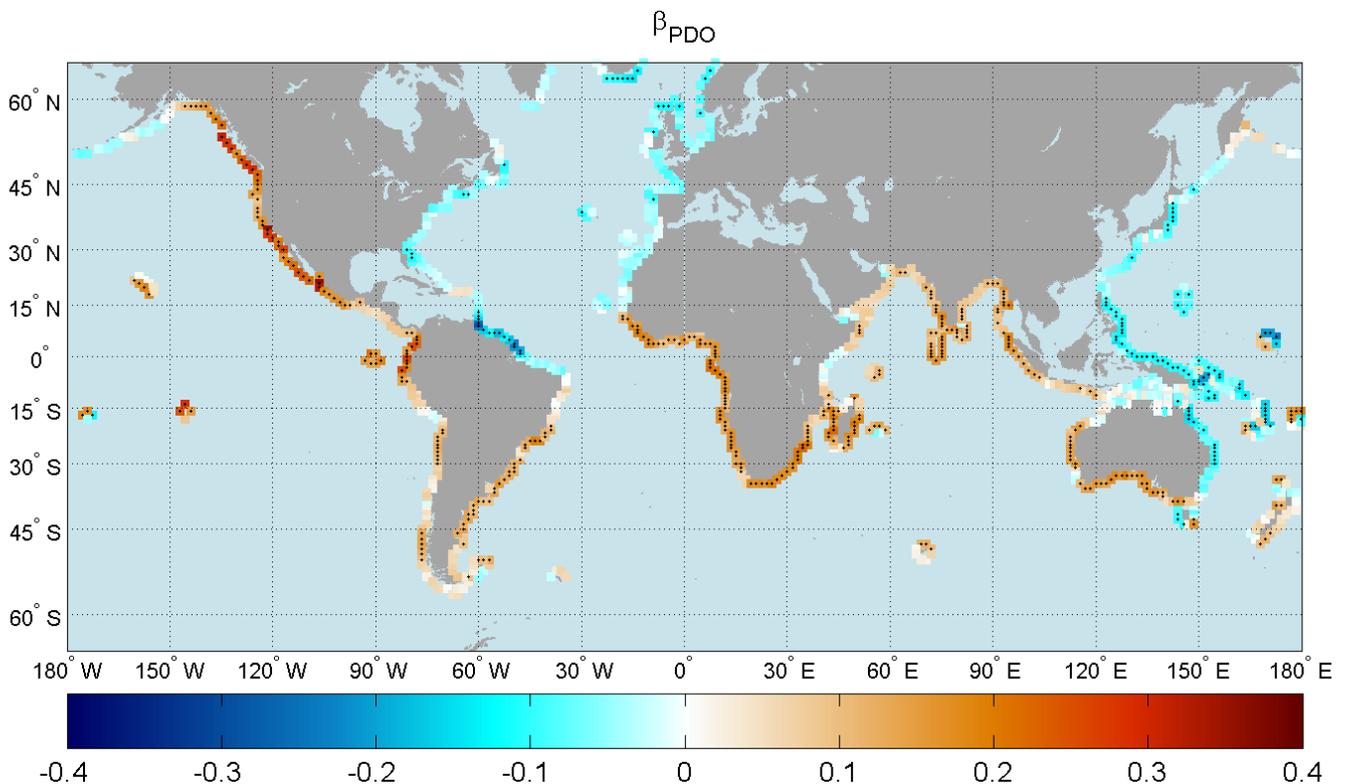


Figura 6.46. Correlación lineal de $P_{high}[I_{cs} \cdot I_c]$ con el índice PDO. Con asteriscos negros se resaltan los puntos cuya significancia es superior al 95%.

La PDO es un patrón de baja frecuencia similar al ENSO, de hecho, juega un papel fundamental en la modulación de la intensidad de los eventos de El Niño y La Niña. El patrón de anomalías de SST es muy similar, diferenciándose principalmente en la persistencia temporal de cada uno de ellos. Mientras que el ENSO oscila preferentemente en una fase de 3 a 7 años, la PDO lo hace en una fase de 20 a 30 años.

Mientras que durante eventos de El Niño, la anomalía positiva de SST se localiza sobre el Pacífico ecuatorial, durante la fase cálida de la PDO, esta lo hace sobre el Pacífico noreste, quedando una masa de aguas más frías de lo habitual en las costas de California y Canadá.

Este patrón modula la intensidad y ocurrencia de las bajas presiones Aleutianas durante el invierno, contribuyendo positivamente al $P_{high}[I_{cs} \cdot I_c]$ en la costa oeste de EE.UU., México, Colombia y Ecuador, ya que la dirección de propagación de estos oleajes es preferencialmente del NW. En el Pacífico oeste, valores positivos de PDO se relacionan con una disminución de los vientos ecuatoriales del este, de manera que las condiciones de surf se ven mermadas en las costas de Filipinas, Nueva Guinea y este de Australia.

La modulación generada por la PDO sobre el ENSO puede modificar distintas teleconexiones (Power *et al.*, 1999; Salinger *et al.*, 2001). Por ejemplo, fases positivas de la PDO se relacionan con un incremento en la actividad de los vientos del oeste en el Hemisferio Sur (Folland *et al.*, 2002), aumentando así las opciones de surf en esta parte del globo. Otra teleconexión significativa es la contribución negativa que ocurre en el Atlántico Norte durante la fase cálida de la PDO, especialmente en la zona NE de Sudamérica.

6.7. Análisis de la variabilidad en el largo plazo del recurso surf, tendencias

Del análisis de las series temporales de $P_{high}[I_{cs} \cdot I_c]$ se pueden obtener tendencias, o variaciones inferibles a largo plazo (próximos 30-40 años). Estas variaciones pueden deberse, por un lado, a variaciones cíclicas en el comportamiento del sistema climático, o por otro, a variaciones inducidas por el efecto de la actividad humana, o cambio climático antropogénico. El caracterizar correctamente las tendencias, o variaciones esperables en el largo plazo del recurso surf, puede ser de gran interés a la hora de elegir a éste como elemento clave para el desarrollo turístico de una determinada región.

La ventaja que ofrece el cálculo de la idoneidad de las condiciones de surf mediante índices, es la posibilidad de calcular la probabilidad de superación anual o mensual de un determinado umbral (5 ó 7), lo cual, posibilita el análisis conjunto de un gran número de variables meteo-oceanográficas ($H_s, T_p, \theta_p, W, \theta_w, SST, ST$), y por tanto de la variabilidad espacio-temporal en la combinación de las mismas. El inconveniente que presenta esta vía de análisis, es que una vez obtenidos los resultados, resulta difícil identificar las causas a las que son atribuibles dicha variabilidad.

En este apartado se muestra el análisis de las tendencias en $P_{high}[I_{cs} \cdot I_c]$. La ventaja de esta aproximación es que se hace uso de series largas de datos históricos de una alta calidad calculados numéricamente. Es importante señalar este factor, ya que en oceanografía y meteorología se dispone hoy día del conocimiento científico y de las bases de datos de los forzamientos necesarios para obtener series continuas, largas (más de 60 años) y fiables desde un punto de vista cuantitativo de las dinámicas marinas de oleaje, viento o temperatura, las cuales son variables cuyo modelado numérico es altamente fiable.

6.7.1. Tendencias en base a la regresión local

Así, a partir de las series anuales de $P_{high}[I_{cs} \cdot I_c]$, y ajustando por mínimos cuadrados la expresión (6.8), puede ser identificada la tendencia que muestran los datos:

$$P_{high}[I_{cs} \cdot I_c] = \beta_0 + \beta_{LT}t + \xi \quad (6.8)$$

donde β_{LT} indica la tendencia implícita en la serie temporal y ξ un error aleatorio.

La figura 6.47 muestra la tendencia local calculada en los 1115 puntos donde ha sido evaluada la probabilidad de ocurrencia anual de buenas condiciones de surf. Los puntos donde este ajuste alcanza una significancia superior al 95% se marcan con un asterisco.

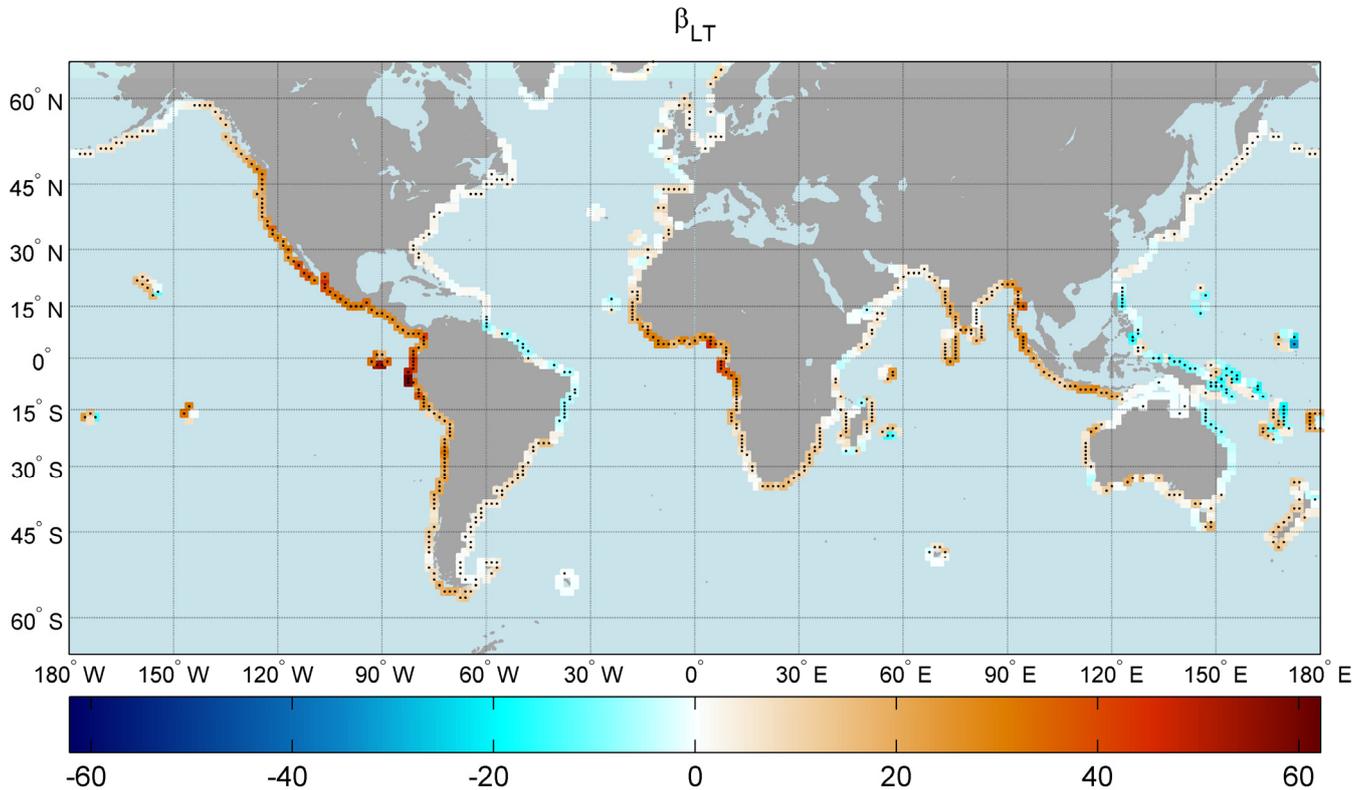


Figura 6.47. Tendencia lineal de $P_{high}[I_{cs} \cdot I_c]$ (horas/año). Con asteriscos se resaltan los puntos cuya significancia es superior al 95%.

Los resultados muestran que durante el periodo analizado (1948-2008), las condiciones de surf han aumentado su probabilidad de ocurrencia en la cara oeste de los continentes ($\beta_{LT} \cong 30$ horas/año), mientras que en la vertiente este se aprecia una leve disminución, a razón de $\cong 10$ horas/año. Este detrimento es especialmente significativo en la zona entre Surinam y Salvador de Bahía, en el estado de Queensland (ver figura 6.48), al este de las islas Marshall y Marianas, Filipinas y Taiwán.

La tendencia positiva registrada en las costas oeste es especialmente alta en aquellas zonas que se encuentran fuera del área de generación, siendo esta especialmente notable entre las latitudes $30^\circ N$ y $15^\circ S$, $\beta_{LT} \cong 30$ horas/año en el Pacífico americano y $\beta_{LT} \cong 50$ horas/año en las costas de Ecuador y Galápagos. Al sur de los $15^\circ S$, $P_{high}[I_{cs} \cdot I_c]$ es extremadamente alto, por lo que la tendencia, a pesar de ser al alza, no supera las 20-30 horas/año. Esto mismo ocurre en la vertiente índica de las islas de Indonesia. En esta parte del globo, la tendencia es más intensa a medida que nos adentramos en la Bahía de Benguela y el Mar de Andamán, donde, debido al aumento del T_p (0.03 s/año), el recurso

surf se ve beneficiado (20 horas/año). Este aumento también es importante en la cara oeste de la India.

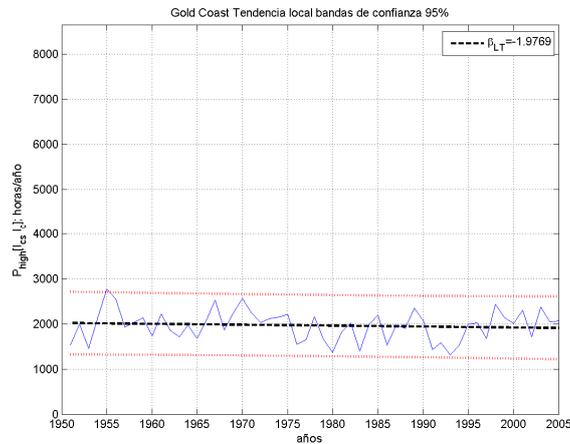


Figura 6.48. Tendencia lineal en $P_{high}[I_{cs} \cdot I_c]$ observado en la costa este australiana.

Al norte y al sur de la latitud 45° se aprecia un aumento de los *westerlies* que perjudican las condiciones de surf, este efecto es claro en el Atlántico Norte, en las costas de Inglaterra e Irlanda. En el Hemisferio Sur, la influencia negativa de los vientos del oeste es especialmente destacable en el sur de Chile, donde a pesar del aumento de la severidad de los oleajes, la tendencia es prácticamente nula.

En la figura 6.49 se muestra el análisis puntual de las tendencias en California y Portugal. Nótese la gran diferencia entre el comportamiento histórico de ambas localidades. Mientras la cuenca del Atlántico Norte muestra tendencias muy suaves en torno a las 4 horas/año, en el Pacífico este se observan tendencias en torno a las 24 horas/año. El aumento en la intensidad de los vientos del oeste en ambos hemisferios provoca un aumento notable en el valor de $P_{high}[I_{cs} \cdot I_c]$ en la costa oeste del continente americano, atribuible a un incremento en los valores medios anuales de la variable T_p , lo cual puede deberse a una mayor incidencia de *groundswells* de los mares del sur o un aumento en el *fetch* propio del Pacífico Norte. La tendencia observada en el Atlántico Norte es mucho más débil ya que ésta recibe principalmente oleajes generados al sur de Groenlandia. El aumento observado la intensidad de los vientos del oeste (tanto en velocidad como en probabilidad de ocurrencia) genera una tendencia negativa en las condiciones de surf de las costas oeste al norte de la latitud $45^\circ N$.

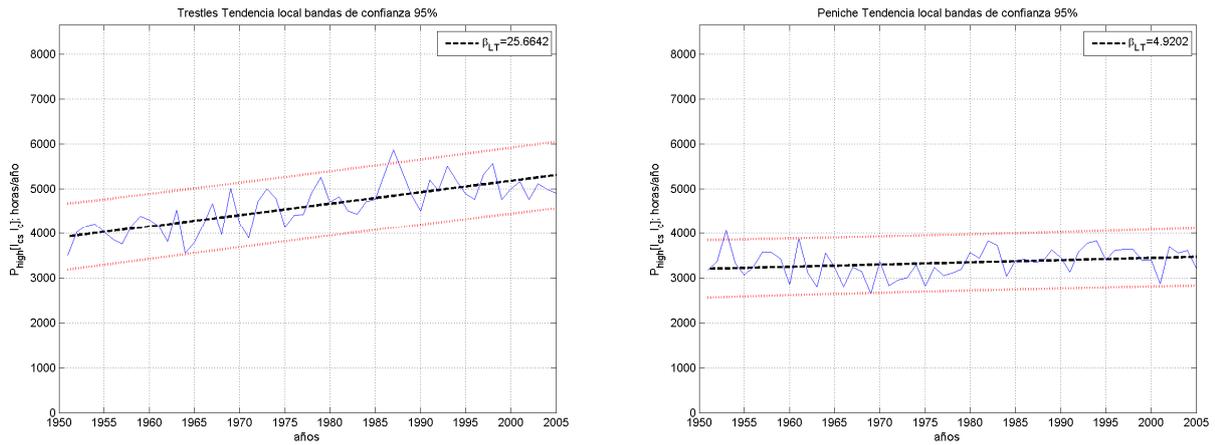


Figura 6.49. Tendencia lineal de $P_{high}[I_{cs} \cdot I_c]$ observada en la costa de California (izquierda) y Portugal (derecha).

Para entender la variabilidad en el largo plazo que muestran las condiciones de surf se han obtenido las tendencias anuales de las variables más relevantes en el surf. En la figura 6.50 se muestra la tendencia en la altura de ola significativa media anual.

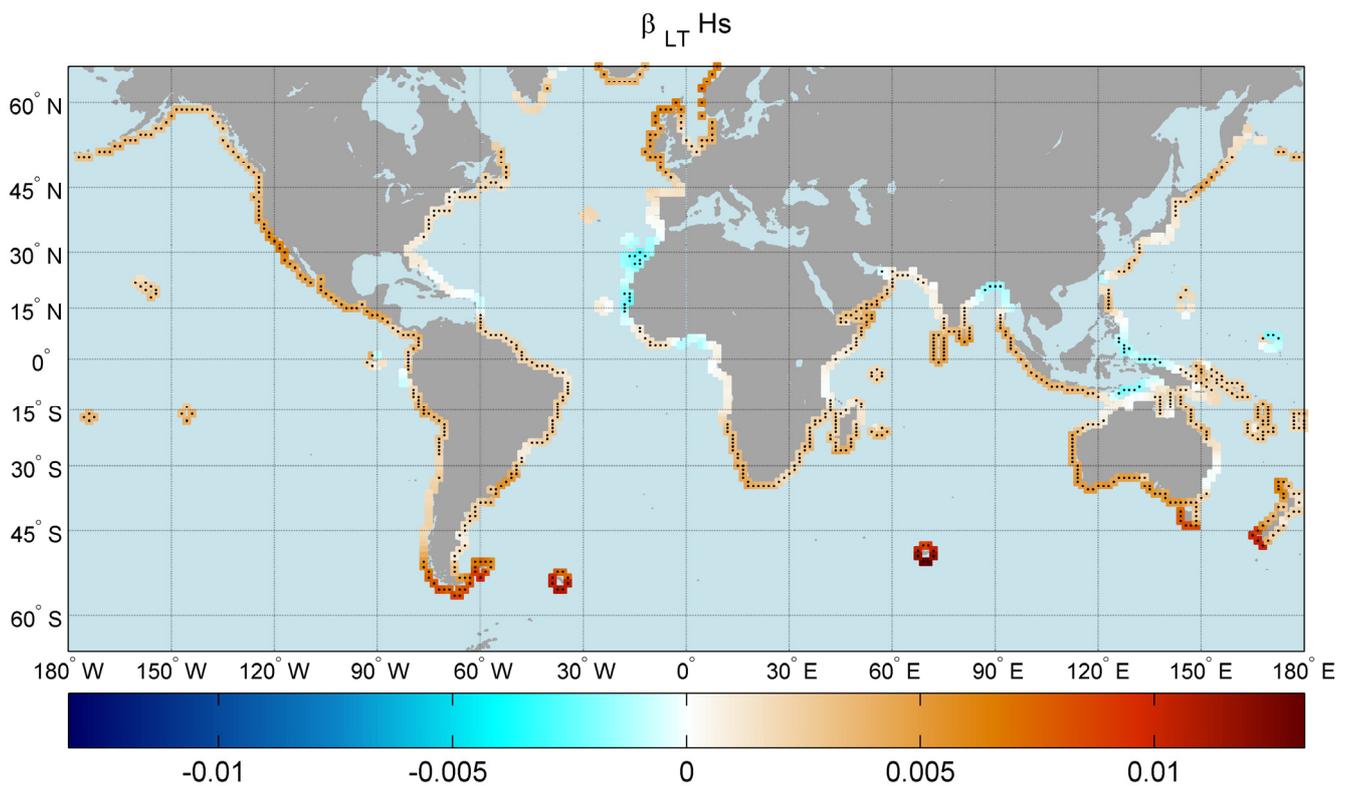


Figura 6.50. Tendencia lineal en H_s media anual (m/año). Con asteriscos negros se resaltan los puntos cuya significancia es superior al 95%.

En cuanto a la altura de ola significativa, se observa un incremento generalizado de la misma ocurrido durante el periodo de análisis. Esta tendencia es máxima en las

cercanías de la zona de generación (6 mm/año), a medida que nos alejamos de estas zonas el efecto en el incremento de H_s queda suavizado. En el Atlántico Norte se aprecia incluso una disminución en la altura de ola en el noroeste de África, lo cual concuerda con un desplazamiento hacia latitudes más altas de los *jet-streams* extratropicales y una disminución de la intensidad de los alisios. Destaca el aumento de H_s en el Mar Arábico, lo que significa un aumento en la intensidad del Monzón del Suroeste.

Las tendencias observadas en la variable T_p se muestran en la Figura 6.51. El aumento en el periodo de pico observado durante la duración del registro se extiende prácticamente por todo el globo. Este incremento es especialmente notable en las islas Hawai, California, Ecuador, Perú la costa oeste de África y la Bahía de Bengala. Sin embargo, en latitudes ecuatoriales y tropicales orientadas al este el periodo de pico disminuye en torno al 0.04 s/año lo cual significa un descenso en la intensidad de los alisios.

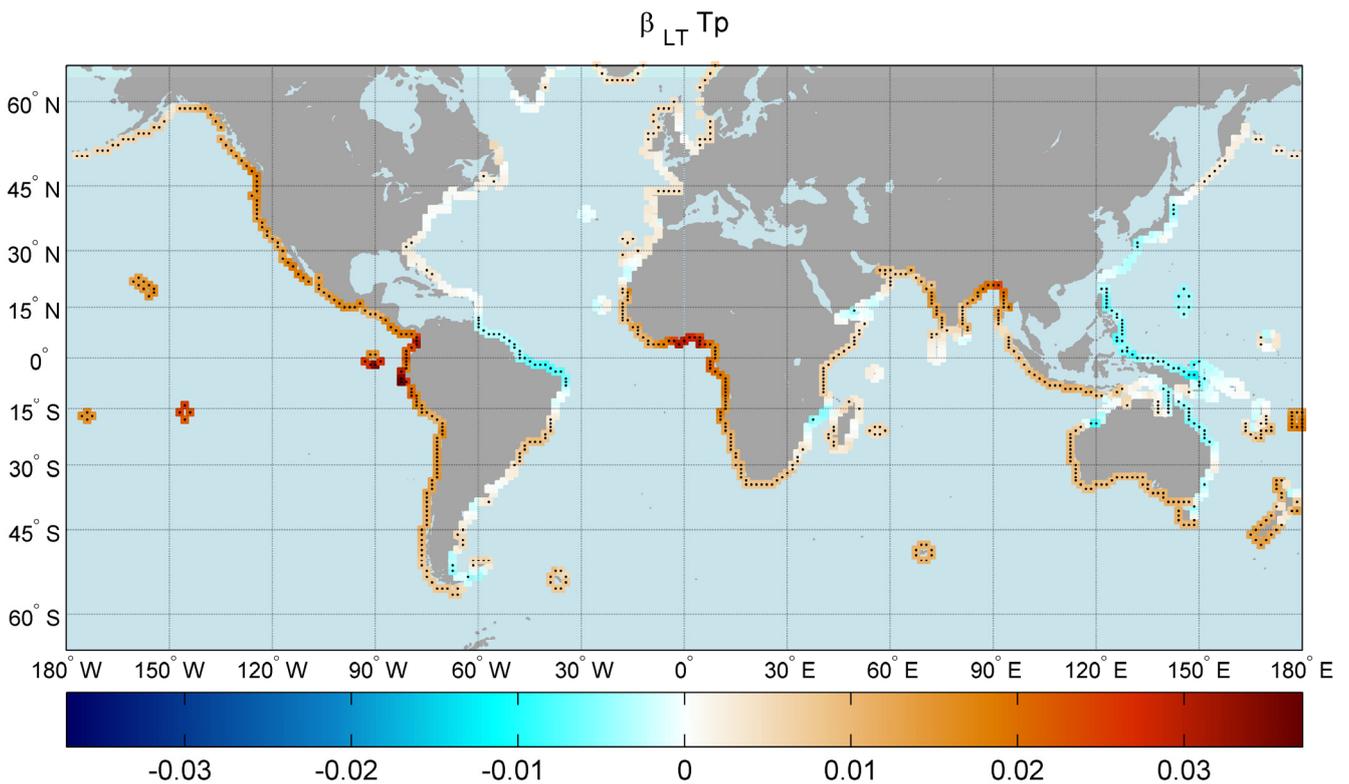


Figura 6.51. Tendencia lineal de T_p medio anual (s/año). Con asteriscos negros se resaltan los puntos cuya significancia es superior al 95%.

La figura 6.52 muestra la tendencia de la velocidad del viento, nótese el claro patrón zonal con colores anaranjados al norte y sur de los 30°, y azules en latitudes intermedias.

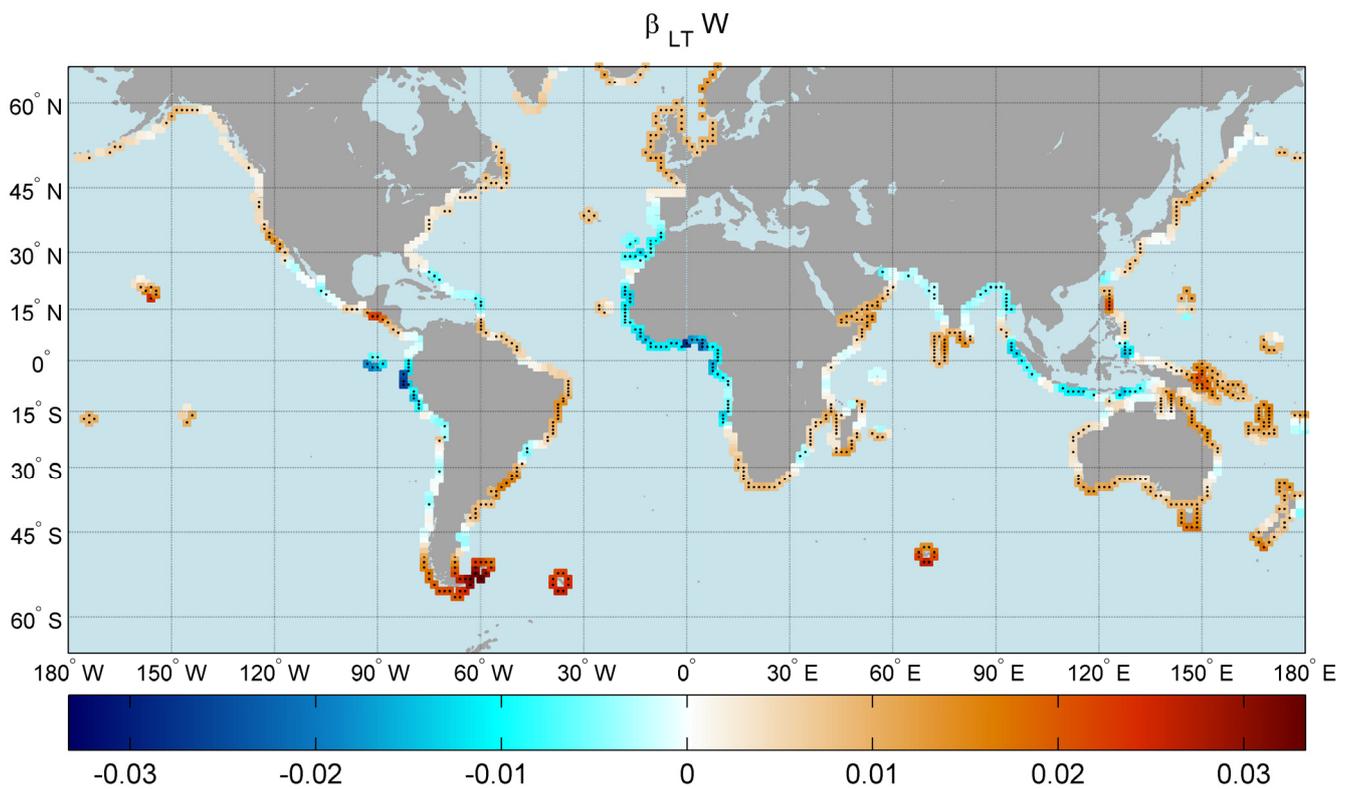


Figura 6.52. Tendencia lineal en W medio anual ($\text{ms}^{-1}/\text{año}$). Con asteriscos negros se resaltan los puntos cuya significancia es superior al 95%.

La tendencia en la direccionalidad del viento se ha analizado considerando el número de eventos anuales ocurridos en sectores direccionales de 45° . La figura 6.53 muestra la tendencia en la ocurrencia de vientos dentro de los sectores direccionales considerados. Esta figura, junto con la figura 6.52, puede aportarnos información muy útil acerca de la variabilidad observada en los vientos costeros. Por un lado se tiene un incremento en la tasa de ocurrencia de vientos del oeste (10 horas/año), que es extensible a ambos hemisferios en latitudes superiores a los 45° . Esta componente también muestra tendencias positivas en el Mar Árabe. Por otro lado, los vientos del este en latitudes bajas son menos frecuentes (5-10 horas/año) e intensos, este hecho hace que los estados de mar generados sean de menor altura y periodo. Además en la margen este de los continentes (Brasil, Nueva Guinea y Polinesia Francesa), se aprecia un incremento en la velocidad de los vientos, estos toman dirección NE en el norte de Sudamérica y dirección SE en el Pacífico Sur.

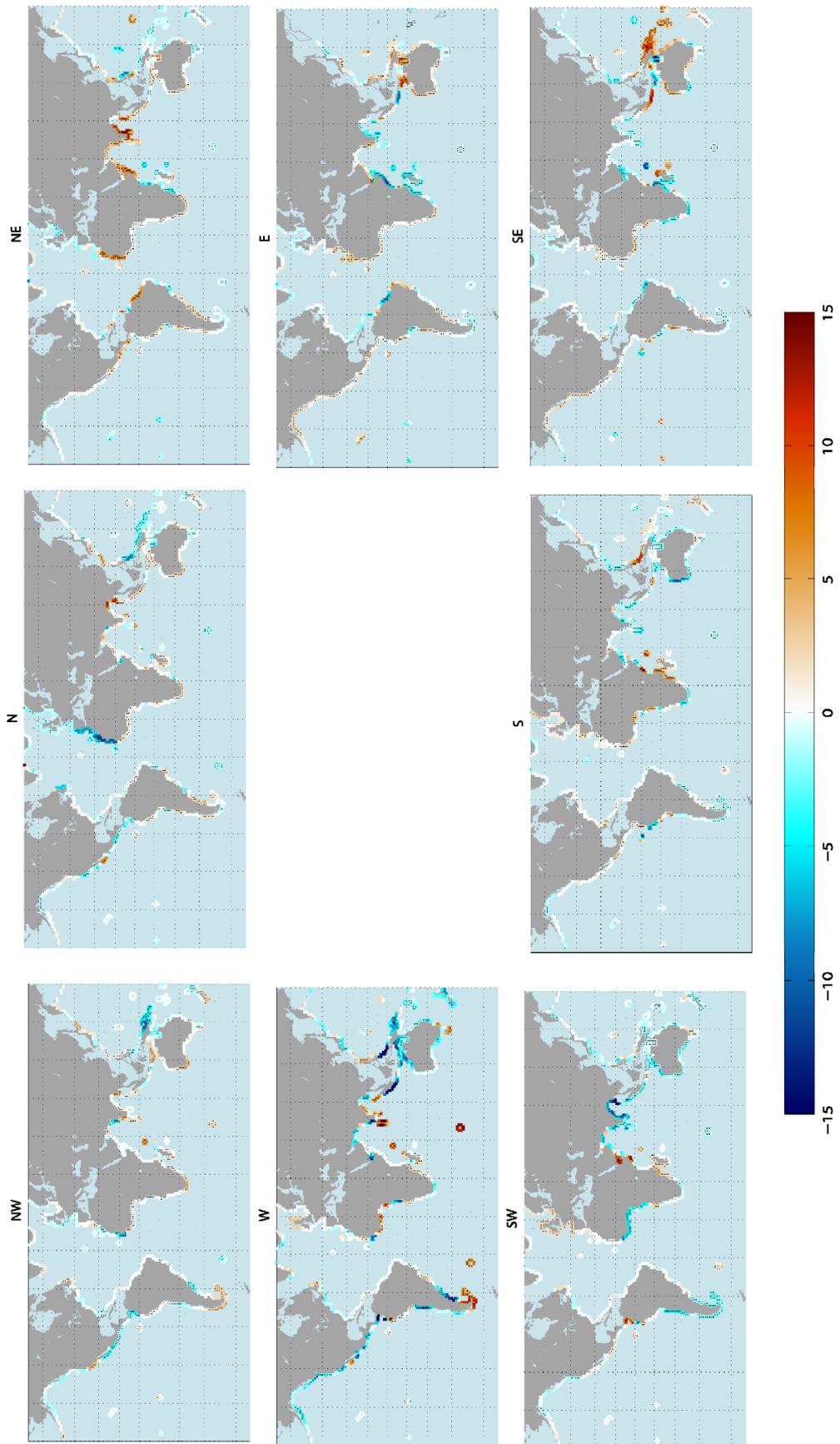


Figura 6.53. Tendencia lineal en $P[\theta_w]$ (horas/año) considerando sectores direccionales de 45° .

En este punto conviene aclarar como las variaciones observadas en T_p son las que más claramente se traducen en variaciones en la disponibilidad de condiciones surfeables, nótese el parecido entre la figura 6.51 y 6.47.

Respecto a la tendencia observada en el promedio de temperatura entre SST y ST, los resultados muestran un incremento generalizado de unos 0.01-0.015° C/año, aunque esta tendencia es mayor en latitudes medias. Se observan por otro lado, ciertas zonas como la costa oeste de Canadá o el Mar de Noruega que han experimentado un descenso de la temperatura promedio de unos 0.005° C/año, atribuible a una disminución de la intensidad de la Corriente del Golfo. Así, el comportamiento en el largo plazo ejerce un efecto casi despreciable en las variaciones observadas en la disponibilidad del recurso surf.

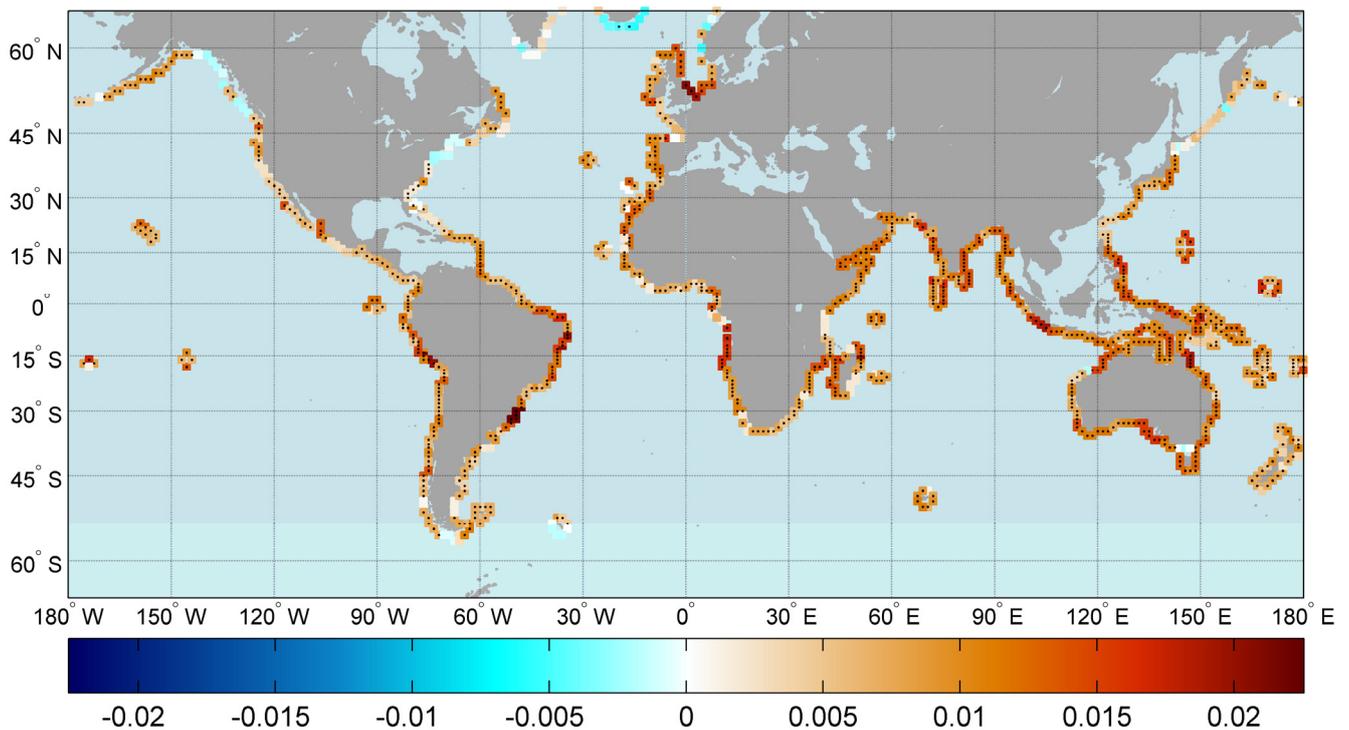


Figura 6.54. Tendencia lineal en $[SST+ST]/2$ medio anual (°C/año). Con asteriscos negros se resaltan los puntos cuya significancia es superior al 95%.

En la figura 6.55 se muestran las tendencias observadas al discretizar y analizar independientemente cada estación del año, de modo que $\beta_{LT,DJF} + \beta_{LT,MAM} + \beta_{LT,JJA} + \beta_{LT,SON} = \beta_{LT}$. Nótese como es el Hemisferio Sur el responsable en la tendencia positiva de $P_{high}[I_{cs} \cdot I_c]$, ya que los valores más altos ocurren

en latitudes negativas durante todo el año, y en latitudes positivas especialmente durante el verano. En el Golfo de Bengala, el incremento de $P_{high}[I_{cs} \cdot I_c]$ se produce durante la primavera (fuera del periodo del Monzón), lo cual demuestra que el recurso surf en países como Bangladesh, Myanmar y Tailandia es debido fundamentalmente a los *groundswells* generados entre el Pasaje de Drake y Australia.

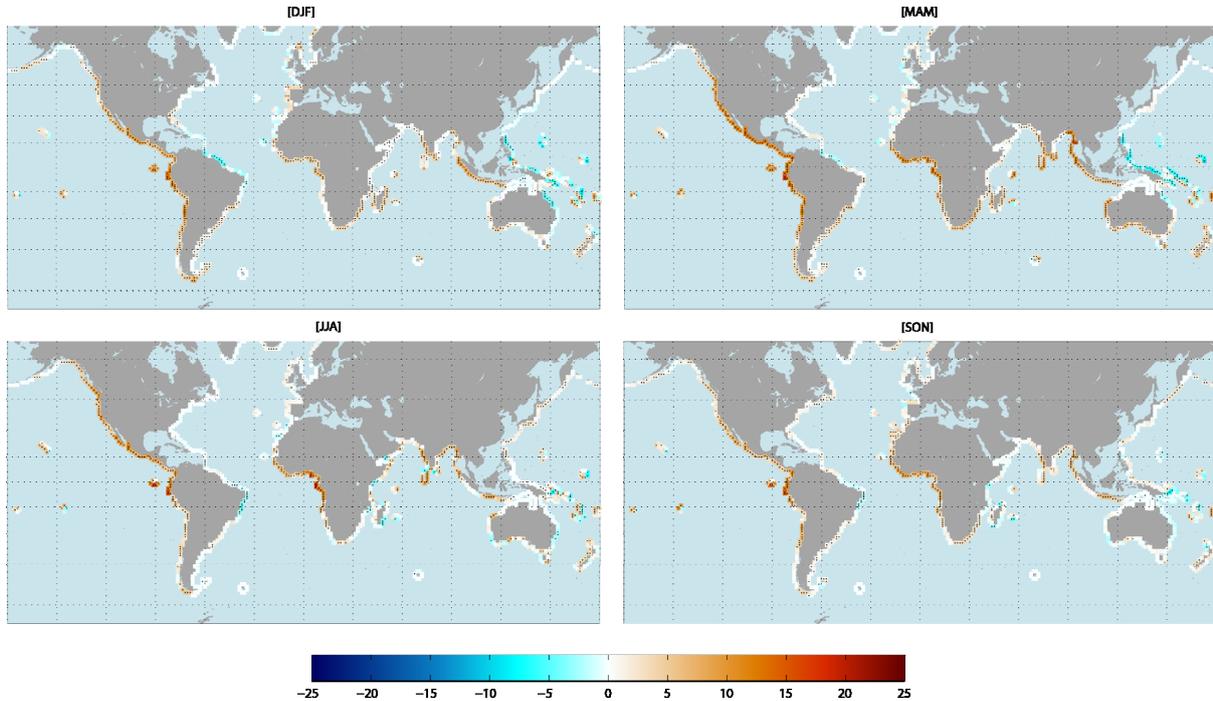


Figura 6.55. Tendencia estacional de $P_{high}[I_{cs} \cdot I_c]$ (horas/estación).

6.8. Conclusiones

En este capítulo se ha analizado la distribución espaciotemporal global de las condiciones de surf. Se ha partido de la probabilidad de ocurrencia de estados de mar surfeables distinguiendo entre dos regímenes de oleaje bien diferenciados, *groundswells* y *windswells*. De esta manera se ha comprobado como los estados de mar de alta calidad son más probables en las zonas de dominancia de los *groundswells* o *swells pools* (Chen *et al.*, 2002). Mientras que los estados de mar de una calidad intermedia son más frecuentes en las zonas de dominancia de los oleajes tipo *windswell*. Esta diferenciación obedece a la causa generadora: tormentas o depresiones extratropicales y vientos alisios respectivamente.

Al evaluar las condiciones de oleaje con el *Coastal Swell Index* se obtiene una información más realista de las características del mismo en las inmediaciones de la costa, ya que, por un lado, se propagan los oleajes considerando la dirección media de la costa definida en tramos de 100-150 km, y por otro, se tiene en cuenta el efecto del viento. Mediante este análisis se puede obtener una estima objetiva acerca del tiempo en el cual se dispone de condiciones surfeables en cualquier punto del planeta. Además mediante el análisis de la variabilidad estacional puede identificarse cuando ocurren estas condiciones.

El *Comfort Index* nos permite incorporar el efecto de la temperatura promediando las variables *SST* y *AT*. De esta forma puede apreciarse como en latitudes superiores a los 45° la sensación térmica esperada resulta tan negativa para el surf como la ausencia de oleajes.

Por medio del *Effective Index*, se han desechado aquellos instantes de condiciones favorables de oleaje y viento que ocurren, bien durante la noche, o durante variaciones muy rápidas del nivel del mar debidas a la marea astronómica.

A partir de la aplicación de los subíndices descritos, se han obtenido las siguientes conclusiones que conviene remarcar:

- Las condiciones de surf son más probables en la cara oeste de los continentes, entre las latitudes 45° *N* y 45° *S*. Debido al efecto de los *trade winds* latitudes comprendidas entre las latitudes 30° *N* y 30° *S* son especialmente buenas para la práctica de este deporte, ya que éstos toman frecuentemente dirección *offshore*.
- La cara este de los continentes están dominadas por condiciones de surf de una calidad intermedia, con olas pequeñas, de pequeño periodo y frecuentemente bajo el efecto de vientos débiles o moderados con dirección *onshore*.
- Las condiciones de surf son más frecuentes durante el invierno respectivo de cada hemisferio, esta afirmación es especialmente cierta en el Atlántico Norte y en el Pacífico Norte a partir de la latitud 40° *N*, ya que a los *groundswells* del

Hemisferio Sur llegan muy debilitados a latitudes tan altas. En la costa pacífica de Centroamérica, Perú, norte de Chile e Indonesia la variabilidad estacional es mucho menor, siendo muy probable la ocurrencia de buenas condiciones de surf durante cualquier época del año.

En relación al análisis de la variabilidad interanual se han obtenido las siguientes conclusiones:

- Los patrones climáticos de variabilidad de baja frecuencia explican la mayor parte de la variabilidad interanual en la disponibilidad de condiciones surfeables de alta calidad en el globo.
- El ciclo ENSO muestra una correlación significativa, pero no muy elevada, en la mayor parte del globo. El efecto de este índice es especialmente claro en el Pacífico, tal como cabría esperar.
- Los índices más prominentes en cada hemisferio han demostrado ejercer una clara influencia en las condiciones de surf. La AO ejerce un efecto muy claro en el Atlántico Norte y algo más encubierto en el Pacífico Norte. El índice SAM muestra una correlación muy clara con las condiciones de surf en todas aquellas costas que reciben oleajes de los mares del sur.
- Los índices climáticos cuya afeción en la disponibilidad de condiciones de surf es más clara son aquellos de carácter regional, obteniendo correlaciones superiores al 0.4, con la NAO y la EA en Atlántico Norte, y con el WP y EP/NP en el Pacífico septentrional.

Del análisis de las tendencias se concluye que:

- Se ha observado una tendencia positiva en la intensidad de los vientos del oeste extratropicales y una disminución de los alisios.
- Este hecho se traduce en un incremento en H_s y T_p , siendo este último mucho más claro y abarcando una zona más amplia.

- Los cambios observados producen un incremento generalizado en la disponibilidad de condiciones de surf de alta calidad, especialmente en aquellas zonas expuestas a los oleajes del Hemisferio Sur. La disponibilidad de las mismas decrece en la cara este de Australia, del Mar de Filipinas al Mar de Salomón, y en el norte de Brasil.
- En el Atlántico Norte la tendencia no es significativa en la mayoría de los puntos analizados, por lo que se piensa que las condiciones de surf pueden estar limitadas por el tamaño de la cuenca.