



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS  
ESPAÑA



⑪ Número de publicación: **2 392 411**

⑫ Número de solicitud: 201231203

⑮ Int. Cl.:

**G01N 33/18** (2006.01)  
**G01S 13/90** (2006.01)

⑫

## PATENTE DE INVENCIÓN CON EXAMEN PREVIO

B2

⑬ Fecha de presentación:

**26.07.2012**

⑭ Fecha de publicación de la solicitud:

**10.12.2012**

Fecha de modificación de las reivindicaciones:

**09.08.2013**

Fecha de la concesión:

**08.01.2014**

⑮ Fecha de publicación de la concesión:

**15.01.2014**

⑬ Titular/es:

**UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE  
COMPOSTELA (50.0%)**  
**Edificio EMPRENDIA-Campus Vida**  
**15782 Santiago de Compostela (A Coruña) ES y**  
**UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA (50.0%)**

⑭ Inventor/es:

**MERA PÉREZ, David;**  
**COTOS YÁÑEZ, José Manuel;**  
**VARELA PET, José;**  
**FLORES GONZÁLEZ, Julián;**  
**GARCÍA RODRÍGUEZ, Pablo y**  
**CARO LINDO, Andrés**

⑮ Agente/Representante:

**PARDO SECO, Fernando Rafael**

⑯ Título: **Método y sistema de detección de hidrocarburos basado en el análisis de datos SAR**

⑰ Resumen:

Sistema y un método de detección automática de vertidos de hidrocarburos optimizado para dar una respuesta en tiempo casi real a la presencia de este tipo de vertidos en el océano. Para llevar a cabo la detección de los vertidos se emplea imágenes que proporcionan información de la radiación, en el rango de las microondas, reflejada por la superficie. Estas imágenes se analizan en un sistema informático y a partir de este análisis se genera una lista de zonas en las que se han producido vertidos de hidrocarburos.

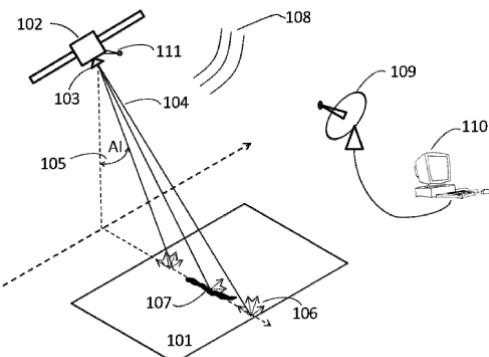


Figura 1

## DESCRIPCIÓN

Método y sistema de detección de hidrocarburos basado en el análisis de datos SAR

## 5 SECTOR TÉCNICO DE LA INVENCIÓN

La presente invención se refiere a un método y sistema de detección de vertidos de hidrocarburos en la superficie oceánica a partir del estudio de la radiación reflejada por la misma.

### ESTADO DE LA TÉCNICA

10 La contaminación oceánica afecta directamente a la economía (turismo, pesca, etc.) y al medioambiente de las regiones costeras. Del total de la contaminación provocada por vertidos de hidrocarburos, cerca de la mitad (45%) la forman pequeños derrames generados a través de tareas de mantenimiento (p.ej. la limpieza de las sentinas) que se denominan genéricamente sentinazos. Los sentinazos suelen aparecer en las principales rutas marítimas y los infractores suelen realizar los vertidos durante la noche para evitar ser detectados por las autoridades.

15 Diferentes sistemas han sido desarrollados con el objetivo de detectar los vertidos de hidrocarburos para así poder combatir sus efectos e incluso perseguir a los infractores. En la actualidad se utilizan buques y aviones especialmente equipados para llevar a cabo labores de vigilancia y lucha contra la contaminación. Aunque útiles como equipos de intervención, su limitada cobertura y su excesivo coste los hace poco eficientes a la hora de vigilar áreas extensas.

20 Los sistemas de detección, basados en datos obtenidos por satélites, tienen una gran cobertura que los hace especialmente útiles como medios de vigilancia. Algunos desarrollos están basados en sensores ópticos pero éstos se ven afectados por la radiación solar y por la cobertura nubosa, lo que los hace menos versátiles que otros basados en sensores de microondas.

25 Los datos obtenidos a través de satélites equipados con Radares de Apertura Sintéticos (SAR) han demostrado ser de gran utilidad en la detección de hidrocarburos. Es habitual referirse a este tipo de datos como imágenes SAR dado que éstos pueden ser visualizados asociando sus valores a niveles de grises. Existen diversos factores a tener en cuenta en el desarrollo de un sistema de detección de hidrocarburos de esta naturaleza y entre ellos cabe destacar los siguientes:

- 30
- La eficacia del sistema se basa principalmente en el análisis de los datos SAR por ello es importante utilizar la mayor precisión posible en éstos para no perder información.
  - Los falsos positivos son mucho más numerosos que los vertidos y entre éstos los más abundantes son los causados por vientos de bajan intensidad. Incluir información meteorológica (datos de vientos) es vital para una correcta clasificación.
- 35
- El tiempo de respuesta del algoritmo es crítico para identificar un vertido y actuar ante una eventual emergencia. Es importante tener en cuenta que los sentinazos suelen disolverse tras un corto período de tiempo.

40 En el estado de la técnica se observan diferentes aproximaciones al desarrollo de sistemas automáticos o semiautomáticos para la detección de vertidos de hidrocarburos. La mayoría de ellas están compuestas por algoritmos que pueden ser divididos en 3 grandes fases: una fase de segmentación donde se trata de localizar todos los candidatos a sentinazos (vertidos y falsos positivos), una fase de caracterización donde se extrae un vector de características de cada candidato y por último una fase de clasificación en la que se analiza el vector obtenido y se asigna una clase (sentinazo o falso positivos) al candidato.

En *Neural Networks for Oil Spill Detection Using ERS-SAR Data*, F. Del Frate, A. Petrocchi, J. Lichtenegger y G. Calabresi, *Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 38, nº 5, 2000. se desarrolló un sistema en el que el tiempo de procesamiento y la eficacia del proceso de segmentación fueron mejorados a través de la supervisión de un operador. La segmentación, en lugar de aplicarse sobre toda la imagen SAR, se aplicaba sólo

5 a determinadas regiones de interés (ROI) previamente seleccionadas por un experto. A través de un umbral y una técnica de detección de bordes se generaba un producto con todos los posibles sentinazos que un operador debía validar. De cada candidato se obtenía un vector de características compuesto de 4 características basadas en la forma del candidato y 7 características físicas que relacionaban el nivel de intensidad de los píxeles pertenecientes al candidato con el de los de su entorno. La red neuronal utilizada como clasificador alcanzaba 10 una eficacia del 86% en la correcta clasificación de los candidatos. Un estudio en detalle de las conexiones y pesos de la red neuronal concluyó que las características físicas eran más relevantes en la clasificación que las de forma. El sistema, aunque con una eficacia considerable, era dependiente de la supervisión y pericia de un operador lo que mermaba considerablemente sus posibilidades y, aunque el autor lo contempla como línea 15 futura, la no inclusión de información meteorológica en la clasificación, hacía imposible detectar automáticamente todos los falsos positivos.

En *Classifiers and Confidence Estimation for Oil Spill Detection in Envisat ASAR Images*, C. Brekke y S. H. Anne, *Geoscience and Remote Sensing Letters*, vol. 5, nº 1, 2008. se desarrolló una mejora sobre un algoritmo previo basada en la identificación de los sentinazos a través de una aproximación estadística y la posterior asignación de una probabilidad a cada uno de ellos para que un operador pudiese valorar y priorizar las alarmas y así 20 optimizar el uso de los recursos disponibles. La segmentación estaba basada en un umbral adaptativo en el que se tenía en cuenta la influencia de los vientos pero de una forma indirecta a través del PMR (ratio entre la desviación estándar y la media de la intensidad). Calculando el PMR de un área de la imagen y con la premisa de que las áreas con intensidades más altas estaban afectadas por velocidades de viento mayores, se asignaba 25 a la zona estudiada una clase que condicionaba su umbral. La complejidad del proceso de segmentación generaba un tiempo de procesamiento excesivo que los autores intentaron paliar introduciendo factores de escape que evitaban procesar todos los píxeles de la imagen y así mejorar su respuesta. No utilizar todos los datos disponibles suele conllevar una disminución de la eficacia mientras que el uso de valores indirectos (PMR) para ajustar la relación entre el viento y la intensidad introduce imprecisiones en el algoritmo.

En *Using SAR images to delineate ocean oil slicks with a texture-classifying neural network algorithm (TCNNA)*, 30

O. Garcia-Pineda, B. Zimmer, M. Howard, W. Pichel y X. Li, *Canadian Journal of Remote Sensing*, vol. 35, nº 5, pp. 411-421, 2009. se utilizó una red neuronal para segmentar y clasificar en un mismo paso. De cada píxel, el sistema obtenía un vector de características con 46 componentes que incluía: el valor del pixel, vientos locales, ángulo de incidencia e información sobre texturas (descriptores y filtros de convolución). Las imágenes SAR se utilizaban codificadas en 8 bits, con la consecuente pérdida de información respecto a las imágenes originales 35 que disponen de mayor precisión. La red clasificaba correctamente al 98% de los píxeles presentes en los conjuntos de validación. A pesar de la reducción en la precisión de los datos, el tiempo de procesamiento empleado por el algoritmo era excesivo (65 minutos por imagen) debido al uso de un vector de características extenso y complejo.

40 Los sentinazos, dada su naturaleza, adquieren una serie de formas características. Basándose en esta premisa,

en *Oil Spill Detection by SAR Images Based on Shape Feature Space*, G. Yue y W. XiaoFeng, *International Conference on Networking and Information Technology*, Singapore, 2011 se desarrolló un algoritmo de clasificación basado exclusivamente en la forma de las manchas segmentadas. Estudios previos han demostrado que la incorporación de datos meteorológicos es clave para eliminar gran parte de los falsos positivos generados 45 por vientos de baja intensidad. Además, en un análisis de las características más utilizadas, en *Oil spill feature selection and classification using decision tree forest on SAR image data*, K. Topouzelis y A. Psyllos, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 68, pp. 135-143, 2012, se concluye que la utilización de un vector mixto entre características físicas y de forma, obtiene mejores resultados.

## DESCRIPCIÓN DE LA INVENCIÓN

50 El método propuesto en la presente invención se basa en el análisis de datos de radar de apertura sintética, del inglés Synthetic Aperture Radar (SAR). Este tipo de datos se obtienen enviando y recibiendo pulsos de radiación en el rango de las microondas, concretamente en la banda C, con una longitud de onda entre 3,75 y 7,5 cm. La

ventaja de emplear este tipo de radiación es que es capaz de proporcionar información de la superficie aunque existan condiciones meteorológicas adversas y opera en condiciones de baja iluminación, como por ejemplo de noche. Estas ventajas potencian el uso de este tipo de radiación para detectar vertidos de hidrocarburos frente a otro tipo de radiación como puede ser la enmarcada dentro del rango visible (longitud de onda entre 400  $\text{nm}$  y

5 750  $\text{nm}$ ). En particular este método se aplica a la detección de vertidos de hidrocarburos en el océano y se basa en la distinta reflectividad que presenta el océano y el vertido de hidrocarburo a este tipo de radiación y que permite localizar la presencia de este tipo de vertidos. Es conveniente resaltar que los datos SAR son generalmente conocidos como imágenes SAR dado que éstos pueden ser visualizados asociándolos con niveles de grises. La presente invención presenta un método y sistema de detección de hidrocarburos en el océano.

10 La presente invención propone un sistema y un método de detección automático de vertidos de hidrocarburos optimizado para dar una respuesta eficaz en tiempo casi real a la presencia de este tipo de vertidos en el océano.

La invención cubre las deficiencias detectadas en otros sistemas similares:

- 15
- Se introduce el uso de datos meteorológicos (velocidad del viento) basados en datos reales o modelos de vientos.
  - Los datos de las imágenes son procesados utilizando una precisión de 32 bits para no perder información.
  - Se optimiza el tiempo de procesamiento para dar una respuesta en el mínimo intervalo de tiempo un corto periodo de tiempo.

20 25 El método de detección de hidrocarburos en el océano comprende a) emitir pulsos de radiación electromagnética, cuya longitud de onda longitud de onda está entre 3,75 y 7,5cm, que se corresponde a la banda C en el rango de las microondas, hacia el océano; b) medir la radiación electromagnética reflejada por el océano; c) generar una imagen formada por una pluralidad de pixeles en los que cada píxel indica la cantidad de radiación reflejada por el océano; d) incorporar los datos de viento de la zona en la que se enviaron los pulsos de radiación electromagnética; e) procesado de la imagen obtenida; y f) generación de una lista de zonas en las que existen hidrocarburos.

30 35 En la Figura 1 se ilustra una realización del sistema de detección de hidrocarburos en la superficie oceánica (101), que comprende un dispositivo, como por ejemplo un satélite (102), con un emisor/receptor (103) de pulsos energéticos en el rango de las microondas que emite dichos pulsos (104) sobre la superficie a analizar (101). Estos pulsos inciden en la superficie con un cierto ángulo de incidencia (105), Al, y son retrodispersados (reflejados) de forma uniforme (106) gracias a la rugosidad presente en la superficie oceánica como consecuencia del viento. Parte de la energía retrodispersada (reflejada) retorna al emisor/receptor donde se calcula y almacena la intensidad de dicha energía y se genera un producto que puede ser interpretado como una imagen en la que cada pixel representa la cantidad de radiación reflejada por un punto concreto de la superficie. La presencia de un vertido de hidrocarburo (105) atenúa la rugosidad de la superficie afectada y la reflexión de los pulsos tiene un comportamiento especular retornando menos energía.

40 La imagen SAR generada es enviada por un trasmisor (111) a una estación receptora (109) y a continuación a un sistema informático (110) que la procesa y genera una lista que identifica zonas en las que hay presencia de vertidos de hidrocarburos.

#### BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

Las modalidades detalladas en las figuras se ilustran a modo de ejemplo y no a modo de limitación:

45 La Figura 1 muestra el sistema propuesto en el que figura la captura de imágenes SAR de la superficie analizada.

La Figura 2 muestra el esquema del procesado que se aplica a la imagen de SAR obtenida.

La Figura 3 esquematiza el algoritmo para seleccionar los valores de intensidad usados en el cálculo del umbral adaptativo.

La Figura 4 muestra una realización de la arquitectura de la red perceptrón multicapa utilizada para la clasificación

La Figura 5 muestra una realización del esquema de la red de neuronas utilizadas en la capa oculta y en la capa de salida de la red neuronal utilizada como clasificador.

- 5 La Figura 6 muestra un ejemplo de aplicación del sistema sobre una imagen SAR.

#### DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCIÓN

El método de detección de vertidos de hidrocarburos en el océano comprende las etapas de: a) emitir pulsos de radiación electromagnética, cuya longitud de onda longitud de onda está entre 3,75 y 7,5cm, que se corresponde a la banda C en el rango de las microondas, hacia el océano; b) medir la radiación electromagnética reflejada por el océano; c) generar una imagen formada por una pluralidad de píxeles en los que cada píxel indica la cantidad de radiación reflejada por el océano; c) procesado de la imagen obtenida; y d) generación de una lista de zonas en las que existen hidrocarburos.

10 La etapa de procesado del método de detección de hidrocarburos analizando la imagen SAR (201) comprende calibrado y georeferenciado (202) de la imagen SAR; preprocesado (203) de la imagen obtenida en el paso anterior; segmentación (204) de la imagen obteniendo una serie de zonas segmentadas candidatas a presentar vertido de hidrocarburo; caracterización (205) de las zonas segmentadas; y clasificación (206) de las zonas segmentadas como zona con presencia o ausencia de vertido de hidrocarburo

15 El sistema de detección de vertidos de hidrocarburos en el océano comprende: a) un dispositivo (102) que emite (103) pulsos de radiación electromagnética (104) hacia el océano (101) y mide (103) la radiación electromagnética reflejada (106) por el océano y que a partir de la radiación reflejada genera una imagen SAR que se transmite (108) a través de un transmisor (111); b) una estación receptora (109) que recibe la imagen SAR emitida por el transmisor (111); y c) un sistema informático (110) que comprende uno o varios procesadores y una memoria, donde el procesador ejecuta las instrucciones almacenadas en la memoria, las instrucciones comprenden: i) calibrado y georeferenciado de la imagen SAR; ii) preprocesado de la imagen obtenida en el paso anterior para enmascarar las zonas de la imagen que corresponden a tierra y reducir el ruido de las imágenes; iii) segmentación de la imagen obteniendo una serie de zonas segmentadas candidatas a presentar vertido de hidrocarburo aplicando un umbral adaptativo a cada píxel de la imagen y etiquetándolo como candidato a presentar vertido, si el valor de intensidad del píxel es menor o igual que el umbral adaptativo, o

20 como punto sin vertido, si el valor de intensidad del pixel es mayor que el umbral adaptativo, aplicación de un filtro de área a las zonas etiquetadas como candidato a presentar vertido de hidrocarburo para eliminar aquellas zonas con un área menor que un valor  $A_{min}$ ; y aplicación de un filtro de viento a las zonas etiquetadas como candidato a presentar vertido de hidrocarburo para eliminar aquellas zonas en las que la velocidad del viento sea menor que un valor  $v_{min}$ ; iv) caracterización de las zonas segmentadas calculando un vector de características de

25 cada píxel de las zonas etiquetadas como candidatas a presentar vertido de hidrocarburo y aplicando el análisis de componentes principales a los vectores de características para reducir su tamaño y obtener un vector de características reducido; v) clasificación de las zonas segmentadas como zona con presencia o ausencia de vertido de hidrocarburo aplicando una red perceptrón multicapa, a los vectores de características reducidos que clasifica las zonas segmentadas como con presencia o ausencia de hidrocarburos; y vi) generación de una lista de

30 zonas en las que hay presencia de vertido de hidrocarburos.

35 En el sistema de informático (110) a la imagen SAR, que representa los valores de intensidad de la energía reflejada por la superficie, se le incorporan datos de viento correspondientes al área representada por la imagen del instante en que fue obtenida o próximo a dicho momento. Los datos de vientos pueden obtenerse a través de diversas fuentes externas y pueden basarse en mediciones reales, modelos de predicción de vientos o incluso estimaciones a partir de la propia imagen SAR utilizando, por ejemplo, el modelo CMOD5, *An improved C-band scatterometer ocean geophysical model function: CMOD5*, H. Hersbach, A. Stoffelen y S. de Haan, *Journal of Geophysical Research*, vol. 112, 2007.

A continuación se detallan las etapas del procesado correspondientes al método de detección de hidrocarburos.

A. Calibrado y georreferenciación

La imagen SAR (201) es calibrada, siguiendo el método propuesto en Absolute Calibration of ASAR Level 1 Products Generated with PF-ASAR ,B. Rosich y P. Meadows, ESA, 2004, para obtener los valores que representan la radiación reflejada. Esto permite comparar imágenes SAR obtenidas con distintos sensores o con el mismo sensor en distintos instantes de tiempo. Una vez calibrada, la imagen se georreferencia mediante un sistema de coordenadas para identificar la porción de superficie oceánica analizada.

B. Preprocesado

Una vez que la imagen SAR (201) ha sido calibrada y proyectada sobre un sistema de coordenadas se le aplica una primera etapa de preprocesado (202) que comprende:

- Enmascarar las regiones de tierra asignando valores nulos a los píxeles que las forman para excluirlos del procesamiento posterior.
- Aplicar de un filtro paso bajo, por ejemplo un filtro de mediana con una ventana de 3x3 píxeles, que reduce el ruido de las imágenes SAR.

C. Segmentación

A continuación se aplica un proceso de segmentación (203) en el que se detectan todos los píxeles con un nivel de intensidad por debajo de un umbral que los identifica como candidatos a pertenecer a un vertido. La segmentación se realiza utilizando un umbral fijado a través de una función adaptativa cuyo resultado es una imagen binaria donde los candidatos a vertidos son destacados sobre la superficie.

Establecimiento del umbral:

Para establecer la función de umbral adaptativo, utilizada durante la etapa de segmentación, se muestran 1.652 píxeles pertenecientes a zonas afectadas por vertidos. De cada píxel se extrae el valor de intensidad, el ángulo de incidencia y la velocidad del viento. Los píxeles de la muestra fueron agrupados por la velocidad del viento y cada grupo creado fue nuevamente dividido en subgrupos utilizando los ángulos de incidencia. En cada subconjunto (con al menos 10 valores) se calculó la media y la desviación típica de los valores de intensidad de los píxeles agrupados. Finalmente se tomó el valor de intensidad más alto de cada subconjunto que fuese igual o menor a la suma de la media más 2 veces la desviación típica de dicho subconjunto. El proceso se muestra esquematizado en la Figura 3.

El resultado es un conjunto de intensidades para cada rango de velocidad estudiado. Realizando un análisis de regresión sobre los datos se estableció un conjunto pares de funciones donde cada par está compuesto por una función polinómica de cuarto grado, de la forma  $fx^4 + gx^3 + hx^2 + lx + m$ , con f, g, h, l y m constantes y una función exponencial negativa  $ne^{-px}$  con n y p constantes. En ambas funciones la x representa el valor del ángulo de incidencia del píxel. Cada par de funciones es utilizado para representar la intensidad según una determinada velocidad del viento. El uso de una u otra función viene determinado por el ángulo de incidencia tal y como se recoge en la Tabla 1.

Viento	Función Polinómica de cuarto grado	Punto de corte	Función Exponencial Negativa	Referencia
<4m/s	$6.3662 \cdot 10^{-6} \cdot x^4 - 0.00083671 \cdot x^3 + 0.041262 \cdot x^2 - 0.90719 \cdot x + 7.5353$	37.8°	$5.9169 \cdot e^{-0.17881 \cdot x}$	a
<5m/s	$3.0874 \cdot 10^{-6} \cdot x^4 - 0.00043845 \cdot x^3 + 0.023424 \cdot x^2 - 0.55931 \cdot x + 5.0588$	36.25°	$6.6689 \cdot e^{-0.17944 \cdot x}$	b
<6m/s	$2.1022 \cdot 10^{-6} \cdot x^4 - 0.00031131 \cdot x^3 + 0.017414 \cdot x^2 - 0.4365 \cdot x + 4.1503$	36.82°	$5.7770 \cdot e^{-0.17217 \cdot x}$	c
<7m/s	$2.7742 \cdot 10^{-6} \cdot x^4 - 0.00039094 \cdot x^3 + 0.02086 \cdot x^2 - 0.50088 \cdot x + 4.5883$	37.52°	$5.4477 \cdot e^{-0.16858 \cdot x}$	d
>7m/s	$1.2416 \cdot 10^{-6} \cdot x^4 - 0.00019466 \cdot x^3 + 0.011604 \cdot x^2 - 0.31143 \cdot x + 3.182$	36.8°	$6.2053 \cdot e^{-0.17101 \cdot x}$	e

Tabla 1: funciones empleadas para calcular el umbral adaptativo.

## Aplicación del umbral:

El proceso de segmentación se aplica sobre todos los píxeles de la imagen SAR excepto los que previamente han sido enmascarados como tierra en la etapa de preprocesado y los que representan a zonas fuera del área de alcance del sensor.

- 5 De cada píxel procesado se extrae su intensidad, el ángulo de incidencia y la velocidad del viento. La velocidad del viento determina la pareja de funciones (Tabla 1) que formarán el umbral adaptativo y el punto de corte entre ambas. Según el ángulo de incidencia y comparándolo con el punto de corte, se selecciona una de las dos funciones, función polinómica o función exponencial negativa, que determinará el umbral. La función seleccionada proporciona un valor o umbral para el ángulo de incidencia y el viento extraído y será comparado con la intensidad del píxel. Si la intensidad es menor o igual al umbral, el píxel será etiquetado como candidato a presencia de hidrocarburo y en caso contrario como superficie limpia.
- 10 Así, si se analiza un píxel que representa una zona afectado por una velocidad de viento de 5,3 m/s, la pareja de funciones escogida sería la referenciada en la Tabla 1 como 'c'. Si el ángulo de incidencia del píxel es de 37°, la función para representar el umbral sería la exponencial negativa ( $5.4477 \cdot e^{-0.16858 \cdot x}$ ) donde la variable 'x' sería sustituida por el ángulo de incidencia del píxel analizado. El resultado de la ecuación sería el valor que determinase el umbral en ese punto y sería comparado con el valor de intensidad del píxel para clasificarlo como candidato a vertido o como superficie ausente de hidrocarburos.

## Filtro de vientos:

- 20 Estudios previos han descrito que son necesarios vientos de al menos 3 m/s para detectar vertidos de hidrocarburos ya que vientos menores generan falsos positivos que degradan el rendimiento de la segmentación de la imagen. Así, se aplica un filtro de viento que elimina aquellos píxeles afectados por vientos inferiores a 3 m/s ( $v_{min}$ ), que son directamente clasificados como falsos positivos por el algoritmo y etiquetados como superficie con ausencia de hidrocarburo.

## 25 Filtro de área:

Las estructuras formadas por los píxeles segmentados que tengan un área menor que un valor determinado  $A_{min}$  (por ejemplo  $0,3 \text{ km}^2$ ), son eliminadas ya que aunque sean vertidos de hidrocarburos (sentinelas) no son considerados dañinos.

## D. Caracterización

- 30 El resultado de la fase de segmentación es una imagen binaria en la que figuran las zonas que pueden presentar vertido de hidrocarburo, en esta imagen figuran tanto los vertidos como numerosos falsos positivos, es decir

zonas en las que se han detectado vertido de hidrocarburos pero en las que realmente no existe vertido. Los píxeles segmentados forman estructuras que son etiquetadas como candidatos y a las que se les aplica un proceso de caracterización (204) como paso previo a una posterior clasificación. Así en un modo de realización se extraen un conjunto de características para cada candidato segmentado formado por 21 elementos como se muestra en la Tabla 2 y que son descritas a continuación:

Basándonos en la premisa de que los sentinazos adquieren una serie de formas características debido a su naturaleza, se utilizaron 17 valores con información relevante a la forma del candidato como parte del vector de características:

- 5 • Rectangularidad: representa la calidad de la aproximación a la forma del candidato a través del mínimo rectángulo que la engloba (MRE). Se calcula a través de la relación entre el área del candidato con el área del MRE.
- 10 • Circularidad: representa cuan circular es la forma del candidato.
- 15 • Elongación: medida que discrimina las formas alargadas de las que no lo son. Se calcula a través del ratio entre el eje mayor y el menor de la figura que forma el candidato. La dirección del eje mayor representa la dirección en que la figura es más alargada, mientras que el menor tiene una dirección perpendicular al eje mayor.
- 20 • APR: representa ratio entre el área del candidato y su perímetro.
- MPR: representa el ratio entre el eje mayor y el perímetro del candidato.
- Grosor: aplicando de forma iterativa la operación morfológica de erosión sobre la figura del candidato, el grosor mediría el número de iteraciones necesarias para romper la conectividad de la figura.
- 25 • Momentos: la forma de los sentinazos es característica debido a su naturaleza pero su tamaño, localización y dirección depende de muchos factores como la cantidad de vertido, la dirección del buque o condiciones meteorológicas. Se han incluido dos tipos de momentos invariantes a la traslación, rotación y escalado (momentos de Hu y momentos de Flusser&Suk) que calculan parámetros estadísticos relativos a la forma de una figura utilizando como base los momentos centrales normalizados ( $\eta_{pq}$   $p=1,2,3$  y  $q=0,1,2,3$ ).

Dos características contextuales están también presentes en el vector: el ángulo de incidencia y la velocidad del viento. Ambas características se calculan sobre el centroide del candidato que geométricamente puede ser representado por la intersección entre todos los planos que dividen la figura en partes iguales.

- 30 • Por último, el vector incorpora dos características físicas: la intensidad media de los píxeles que componen el vertido de hidrocarburo (sentinazo) y el ratio entre la intensidad media de los píxeles del candidato con la intensidad media de los píxeles con ausencia de contaminantes en un rectángulo centrado en el candidato en el que su base y altura son, respectivamente, 3 veces la base y la altura del MRE(candidato).

Tipo	Nombre	Descripción
Forma	Rectangularidad	$\frac{\text{Área}}{\text{Área(MRE*)}}$ *MRE: Mínimo Rectángulo que Engloba al candidato.
	Circularidad	$\frac{\text{Perímetro}^2}{4\pi \text{Área}}$
	Elongación	$\frac{\text{Eje Mayor}}{\text{Eje Menor}}$
	APR	$\frac{\text{Área}}{\text{Perímetro}}$
	MPR	$\frac{\text{Eje Mayor}}{\text{Perímetro}}$
	Grosor	Número de erosiones necesarias para dividir la estructura
	Momento $Hu_1$	$(\eta_{20} + \eta_{02})$
	Momento $Hu_2$	$(\eta_{20} - \eta_{02}) + 4\eta_{11}^2$
	Momento $Hu_3$	$(\eta_{30} + 3\eta_{12})^2 + (3\eta_{21} - \eta_{03})^2$
	Momento $Hu_4$	$(\eta_{30} + \eta_{12})^2 + (\eta_{21} + \eta_{03})^2$
	Momento $Hu_5$	$(\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{30} + \eta_{12}) [(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] + (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03}) [3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2]$
	Momento $Hu_6$	$(\eta_{20} - \eta_{02}) [(\eta_{30} - \eta_{12})^2 - (\eta_{21} \eta_{03})^2] + 4\eta_{11}(\eta_{30} + \eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03})$
	Momento $Hu_7$	$(3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{30} + \eta_{12}) [(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] - (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03}) [3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2]$
	Momento $Fusser\&Suk_1$	$(\eta_{20}\eta_{02} - \eta_{11}^2) / \eta_{00}^4$
	Momento $Fusser\&Suk_2$	$(-\eta_{30}^2\eta_{03}^2 + 6\eta_{30}\eta_{21}\eta_{12}\eta_{03} - 4\eta_{30}\eta_{12}^3 - 4\eta_{21}^3\eta_{03} + 3\eta_{21}^2\eta_{12}^2) / \eta_{00}^{10}$
	Momento $Fusser\&Suk_3$	$(\eta_{20}\eta_{21}\eta_{03} - \eta_{20}\eta_{12}^2 - \eta_{11}\eta_{30}\eta_{03} + \eta_{11}\eta_{21}\eta_{12} + \eta_{02}\eta_{30}\eta_{12} - \eta_{02}\eta_{21}^2) / \eta_{00}^7$
	Momento $Fusser\&Suk_4$	$(-\eta_{20}^3\eta_{03}^2 + 6\eta_{20}^2\eta_{11}\eta_{12}\eta_{03} - 3\eta_{20}^2\eta_{02}\eta_{12}^2 - 6\eta_{20}\eta_{11}^2\eta_{21}\eta_{03} - 6\eta_{20}\eta_{11}^2\eta_{12}^2 + 12\eta_{20}\eta_{11}\eta_{02}\eta_{21}\eta_{12} - 3\eta_{20}\eta_{02}^2\eta_{21}^2 + 2\eta_{11}^3\eta_{30}\eta_{03} + 6\eta_{11}^3\eta_{21}\eta_{12} - 6\eta_{11}^2\eta_{02}\eta_{30}\eta_{12} - 6\eta_{11}^2\eta_{02}\eta_{21}^2 + 6\eta_{11}\eta_{02}^2\eta_{30}\eta_{21} -$
Contextual	Velocidad del viento	Velocidad del viento en el centroide del candidato.
	Ángulo de Incidencia	Ángulo de Incidencia en el centroide del candidato
Físicas	Intensidad media ( $\mu Int$ )	Intensidad media de los píxeles pertenecientes al candidato
	ASR	$\mu Int(\text{candidato}) / \mu Int(\text{área circundante})$

Tabla 2: vector de características.

Se aplica el análisis de componentes principales, del inglés Principal Component Analysis (PCA) al vector de características para reducir su tamaño y obtener un vector de características reducido. El objetivo del PCA es reducir el número de variables (características) perdiendo la menor cantidad de información posible. Las variables creadas a través del PCA son una combinación lineal de las variables originales e independientes entre sí. En un modo de realización se sustituyen la totalidad de las características de forma por los 5 primeros componentes que cubren más 92% de la cantidad de información contenida en las características originales. Los

coeficientes aplicados sobre las características de forma para obtener las 5 componentes son los mostrados en la Tabla 3.

	PCA 1	PCA 2	PCA 3	PCA 4	PCA 5
APR	-0.0321	0.0466	0.6160	0.1722	-0.1237
Elongación	0.1770	0.3460	-0.1469	0.2321	-0.1141
MPR	0.2596	0.0579	0.3499	0.0017	-0.0160
Rectangularid	-0.1196	-0.0306	0.2473	0.0149	0.8811
Circularidad	0.3070	-0.0775	0.0457	-0.0321	-0.2217
Grosor	-0.0013	0.0530	0.6099	0.1626	-0.2103
Hu <sub>1</sub>	0.3299	0.0316	-0.0735	0.0802	-0.0472
Hu <sub>2</sub>	0.3371	0.0255	-0.0683	0.1573	0.0767
Hu <sub>3</sub>	0.3389	-0.0366	-0.0237	0.0670	0.1383
Hu <sub>4</sub>	0.2769	0.3158	-0.0167	-0.0164	0.1338
Hu <sub>5</sub>	0.2092	0.4218	-0.0049	-0.0343	0.1185
Hu <sub>6</sub>	0.2055	0.4349	0.0000	-0.0842	0.1202
Hu <sub>7</sub>	-0.2791	0.3182	-0.0151	0.0583	-0.1003
Flusser&Suk <sub>1</sub>	0.2795	-0.2692	0.0373	-0.2175	-0.0562
Flusser&Suk <sub>2</sub>	0.0728	-0.2281	-0.1329	0.7528	0.0772
Flusser&Suk <sub>3</sub>	-0.2540	0.2239	-0.1053	0.4511	-0.0382
Flusser&Suk <sub>4</sub>	-0.2567	0.3457	-0.0020	-0.1540	-0.0864

Tabla 3: coeficientes de los 5 primeros componentes principales.

## 5 D. Clasificación

La clasificación comprende aplicar una red perceptrón multicapa, a los vectores de características reducidos que clasifica las zonas segmentas como con presencia o ausencia de hidrocarburos. El método utiliza un clasificador basado en una red neuronal perceptrón multicapa, del inglés MultiLayer Perceptrón (MLP). Su arquitectura, así como los pesos de las neuronas de la red, fueron establecidos a través de un proceso de entrenamiento y

10 validación. Para el desarrollo, entrenamiento y test de la red se utilizó una colección de candidatos previamente clasificados que incluía 155 falsos positivos y 80 sentinazos. Dicha colección se dividió en tres conjuntos: un conjunto de entrenamiento con el 70% de los elementos de cada clase y un conjunto de validación y otro de test con, cada uno de ellos, el 15% de los elementos. Cada conjunto contenía los vectores de características, genéricamente denominados patrones, que representaban a los candidatos.

15 Una realización particular de la red, se muestra en la Figura 4. Esta realización particular está compuesta por 3 capas de neuronas. El número de neuronas de la capa de entrada (301) se estableció en 9, una por cada elemento del vector de características, mientras que en la capa de salida (303) se utilizaron 2 neuronas para que cada una de ellas representase una de las posibles clases del candidato. Los valores de salida se normalizaron en el rango [0,1] representando el '0' la incompatibilidad con la clase asignada a dicha neurona y el '1' la total

20 compatibilidad, mientras que los valores intermedios representaban una cierta probabilidad de pertenencia a la clase. Las entradas a la red fueron también normalizadas dentro del rango [-1,1].

25 El número de neuronas de la capa oculta se estableció a través de un proceso comparativo entre diferentes arquitecturas. Utilizando el algoritmo de retropropagación de errores con la variante del término "momento", de acuerdo a *Learning representations by back-propagating errors* D. E. Rumelhart, G. E. Hintont y R. J. Williams, *Nature*, vol. 323, 1986 como proceso de aprendizaje de la red y basándose en la regla *ad hoc* de que el número de neuronas ocultas no debería ser superior al doble del número de neuronas de entrada, *Calculating network size analytically*, K. Swinger, *Applying Neural Networks: A Practical Guide*, Morgan Kaufmann, 1996, p. 53., fueron realizadas diferentes pruebas en las que se emplearon hasta un máximo de 18 neuronas en la capa oculta. En cada prueba, los patrones normalizados del conjunto de entrenamiento fueron presentados en repetidas iteraciones a la red y sus salidas se compararon con los resultados esperados y, cuando las salidas no resultaron satisfactorias, los pesos de las neuronas fueron actualizados para minimizar el error.

30 El conjunto de validación fue utilizado para evitar el sobreentrenamiento de la red, es decir, que la red no se adaptase para distinguir solamente a los patrones de entrenamiento sino que pudiese clasificar patrones no presentados con anterioridad. En las sucesivas iteraciones del entrenamiento, la red se entrenaba y adaptada utilizando el conjunto de entrenamiento pero también se probada con el conjunto de validación. Si se alcanzaba el punto de eficiencia máximo respecto al conjunto de validación, el entrenamiento de la red era detenido. La red

resultante era nuevamente probada con el conjunto de test para confirmar su eficiencia con un conjunto independiente.

Las neuronas pertenecientes a la capa de entrada contienen y trasmiten los valores normalizados de los vectores de características a las neuronas contenidas en las capas posteriores. El esquema de las neuronas

5 pertenecientes tanto a la capa oculta como a la capa de salida, es mostrado en la Figura 5 y se detalla a continuación: cada neurona recibe los valores de salida de las neuronas de la capa anterior (401) ponderados a través de los pesos asignados a las conexiones neuronales (402) y un sesgo (403) con valor '1' ponderado por un peso concreto asignado a cada neurona. Una función de propagación (404) que unifica y combina los valores de entrada en un único valor que sirve como entrada para la función de activación de la neurona (406). El

10 resultado de la función de activación representa el valor de salida de la neurona (407).

Las pruebas se realizaron con diferentes inicializaciones de la red, tasas de aprendizaje, valores para el término momento y funciones de transferencia y los mejores resultados se obtuvieron utilizando 11 neuronas en la capa oculta (302), con una tasa de aprendizaje de 0,3 y un valor de momento de 0,9.

15 La función de propagación utilizada fue la suma ponderada de las entradas de cada neurona con los pesos asociadas a ellas, incluyendo el sesgo, mientras que la función de transferencia seleccionada fue una sigmoide (tangente hiperbólica).

La Tabla 4 muestra los pesos resultantes para las conexiones de la realización particular entre las neuronas de la capa de entrada con las de la capa oculta, mientras que los valores de sesgo para cada neurona oculta se muestran en la Tabla 5.

← Neuronas de la capa de entrada →										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
↑ Neuronas de la capa oculta ↓	0,09218	0,58778	0,40732	0,9161	0,21979	0,80927	0,36141	0,76638	0,73503	
1	0,09218	0,58778	0,40732	0,9161	0,21979	0,80927	0,36141	0,76638	0,73503	
2	0,044024	0,61809	-0,21331	0,6361	-0,91291	0,66594	-0,19824	0,94404	-0,45929	
3	0,090409	-0,73864	1,0054	0,84686	0,033377	-0,024414	-0,54991	-1,0052	-0,40009	
4	0,61449	-0,89615	0,28084	0,70583	0,54196	0,18244	-1,0909	-1,0352	0,67843	
5	-0,49386	-0,5454	-0,52419	-0,61662	0,0047514	-0,30659	0,90541	-0,87824	-0,6562	
6	0,5202	-1,2348	-0,67282	-0,15982	0,15621	0,92365	0,17149	0,16629	-0,38464	
7	0,91381	-0,43355	0,047097	0,95277	0,54221	0,18932	1,0051	-1,0277	0,49118	
8	-0,64269	-0,52002	-0,70196	0,72199	-0,082409	0,82479	1,0203	-0,38309	1,0253	
9	-0,24855	0,13141	0,061326	0,83178	-0,16925	-1,2878	-0,052673	-0,35443	1,7161	
10	0,7992	0,66546	0,43854	0,42241	0,074265	0,16573	0,90476	0,9942	1,1577	
11	0,2721	0,58963	-0,51607	0,77627	0,63475	-0,75726	-0,31164	-0,84656	-0,59807	

20

Tabla 4. Pesos de las conexiones entre las neuronas de la capa de entrada con las neuronas de la capa oculta.

Neuronas Capa Oculta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Sesgo	-1.8398	<b>-1.4798</b>	-0.855	<b>-0.65441</b>	<b>0.32048</b>	<b>0.071851</b>	0.2662	-0.96511	<b>1.0092</b>	<b>1.2958</b>	<b>1.9437</b>

Tabla 5. Pesos de las conexiones entre las neuronas de la capa oculta con las neuronas de la capa de salida.

25 La Tabla 6 muestra los pesos para las conexiones entre las neuronas de la capa oculta con las neuronas de la capa de salida, mientras que los valores de sesgo para cada neurona de salida se muestran en la Tabla 7.

Capa Salida	Capa oculta →											
	Neuronas y pesos asociados	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	1	0,32131	-0,79766	0,2009	-0,75207	0,50551	0,40212	0,29476	1,1051	1,3817	-0,60281	0,045794
2	0,32787	-0,28839	1,0078	0,62465	-0,2828	0,22563	-0,63747	-0,6385	-1,0212	1,0518	-0,30744	

Tabla 6: valores del sesgo para las neuronas de la capa oculta.

Neuronas Capa salida	1	2
Sesgo	-1.4358	1.5179

Tabla 7: valores de sesgo para las neuronas de la capa de salida.

- 5 La red MLP, una vez establecida su arquitectura y sus pesos, permite clasificar vectores de características que no le fueron presentados con anterioridad. Los candidatos clasificados como falsos positivos son eliminados de la imagen segmentada, siendo el resultado final una imagen binaria georreferenciada sobre la que los vertidos de hidrocarburos (sentinazos) son destacados sobre un fondo uniforme.
- 10 La Figura 6 muestra un ejemplo de una imagen SAR procesada empleando el método presentado en esta invención. La imagen SAR original se encuentra situada en la esquina superior izquierda y muestra 3 vertidos de hidrocarburos. En la esquina superior derecha se ve el resultado (imagen binaria) obtenido tras procesar la imagen SAR en la que los vertidos son destacados sobre el fondo blanco. Una vista en detalle de las áreas de interés es mostrada en la parte inferior.

## REIVINDICACIONES

1. Un método de detección de vertidos de hidrocarburos en el océano que analiza una imagen SAR (201) obtenida mediante la emisión de pulsos de radiación electromagnética con longitud de onda entre 3,75 cm y 7,5 cm, correspondiente a la banda C en el rango de las microondas, y la posterior medida de la radiación electromagnética reflejada, a la que se le incorporan la velocidad del viento y el ángulo de incidencia de la zona correspondiente a la imagen obtenida, que genera una lista de zonas en las que existen hidrocarburos, que comprende:
- 5 a) calibrar y georreferenciar la imagen SAR (202);
- 10 b) preprocessar (203) la imagen obtenida en el paso anterior enmascarando las zonas de la superficie que se correspondan con zonas de tierra y aplicando un filtro paso bajo que reduce el nivel de ruido de la imagen;
- 15 c) segmentar (204) la imagen preprocessada estableciendo de forma automática la aplicación de una función exponencial negativa o una función polinómica de cuarto grado que calcula un umbral adaptativo de forma automática en función de la intensidad, la velocidad del viento, donde la velocidad del viento se calcula a partir de la propia imagen SAR, y del ángulo de incidencia de cada píxel de la imagen SAR, aplicar la función de umbral adaptativo, para obtener el umbral adaptativo en cada píxel de la imagen para etiquetarlo como candidato a presentar vertido, si el valor de intensidad del píxel es menor o igual que el umbral adaptativo, o como punto sin vertido, si el valor de intensidad del píxel es mayor que el umbral adaptativo, aplicar un filtro de área a las zonas etiquetadas como candidato a presentar vertido de hidrocarburo para eliminar aquellas zonas con un área menor que un valor  $A_{min}$ , y aplicar un filtro de viento a las zonas etiquetadas como candidato a presentar vertido de hidrocarburo para eliminar aquellas zonas en las que la velocidad del viento sea menor que un valor  $v_{min}$ ;
- 20 d) caracterizar (205) las zonas segmentadas en la etapa anterior y etiquetadas como candidatas a presentar vertido de hidrocarburo calculando un vector de características para cada zona formado por los siguientes parámetros: rectangularidad; circularidad; elongación; Área/Perímetro (APR); Eje Mayor/Perímetro (MPR); grosor; momentos invariantes a traslación, rotación y escalado tales como Momento Hu1, Momento Hu2, Momento Hu3, Momento Hu4, Momento Hu5, Momento Hu6, Momento Hu7, Momento Flusser&Suk1, Momento Flusser&Suk2, Momento Flusser&Suk3 y Momento Flusser&Suk4; velocidad del viento; ángulo de incidencia; intensidad media de los píxeles pertenecientes al candidato; y cociente de la intensidad media de los píxeles pertenecientes al candidato y la intensidad media de los píxeles del área circundante al candidato, y aplicar un análisis de componentes principales al vector de características para reducir su tamaño y obtener un vector de características reducido;
- 25 e) clasificar (206) las zonas caracterizadas como zona con vertido o sin vertido de hidrocarburo aplicando una red neural perceptrón multicapa con una capa de entrada de 9 neuronas, una capa oculta de 11 neuronas y una capa de salida de 2 neuronas, a los vectores de características reducidos que clasifica las zonas segmentadas como con presencia o ausencia de hidrocarburos; y
- 30 f) generar una lista georeferenciada de zonas en las que hay presencia de vertido de hidrocarburos.
- 35 2. El método según la reivindicación 1 en el que la función de umbral adaptativo empleada se selecciona de forma automática en función del ángulo de incidencia y de la velocidad del viento del píxel considerado de la imagen SAR, comprendiendo los siguientes coeficientes:
- 40 a) si la velocidad del viento es menor que 4 m/s se aplica la función polinómica de cuarto grado  $6.3662 \cdot 10^{-6} \cdot x^4 - 0.00083671 \cdot x^3 + 0.041262 \cdot x^2 - 0.90719 \cdot x + 7.5353$  para ángulos de incidencia menores de  $37.8^\circ$  y la función exponencial negativa  $5.9169 \cdot e^{-0.17881 \cdot x}$  para ángulos de incidencia mayores de  $37.8^\circ$ ;
- 45 b) si la velocidad del viento es menor que 5m/s y mayor que 4m/s se aplica la función polinómica de cuarto grado  $3.0874 \cdot 10^{-6} \cdot x^4 - 0.00043845 \cdot x^3 + 0.023424 \cdot x^2 - 0.55931 \cdot x + 5.0588$  para ángulos de incidencia menores de  $36.25^\circ$  y la función exponencial negativa  $6.6689 \cdot e^{-0.17944 \cdot x}$  para ángulos de incidencia mayores de  $36.25^\circ$ ;

- c) si la velocidad del viento es menor que 6 m/s y mayor que 5 m/s se aplica la función polinómica de cuarto grado  $2.1022 \cdot 10^{-6} \cdot x^4 - 0.00031131 \cdot x^3 + 0.017414 \cdot x^2 - 0.4365 \cdot x + 4.1503$  para ángulos de incidencia menores de  $36.82^\circ$  y la función exponencial negativa  $5.7770 \cdot e^{-0.17217 \cdot x}$  para ángulos de incidencia mayores de  $36.82^\circ$ ;
- 5 d) si la velocidad del viento es menor que 7 m/s y mayor que 6 m/s se aplica la función polinómica de cuarto grado  $2.7742 \cdot 10^{-6} \cdot x^4 - 0.00039094 \cdot x^3 + 0.02086 \cdot x^2 - 0.50088 \cdot x + 4.5883$  para ángulos de incidencia menores de  $37.52^\circ$  y la función exponencial negativa  $5.4477 \cdot e^{-0.16858 \cdot x}$  para ángulos de incidencia mayores de  $37.52^\circ$ ; y
- 10 e) si la velocidad del viento es mayor que 7 m/s se aplica la función polinómica de cuarto grado  $1.2416 \cdot 10^{-6} \cdot x^4 - 0.00019466 \cdot x^3 + 0.011604 \cdot x^2 - 0.31143 \cdot x + 3.182$  para ángulos de incidencia menores de  $36.8^\circ$  y la función exponencial negativa  $6.2053 \cdot e^{-0.17101 \cdot x}$  para ángulos de incidencia mayores de  $36.8^\circ$ .
3. El método según la reivindicación 1, en el que los pesos de conexión entre las 9 neuronas de la capa entrada y las 11 neuronas de la capa de salida son

← Neuronas de la capa de entrada →										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	0,09216	0,58778	-0,40732	0,9161	0,21979	-0,80927	-0,36141	0,76633	-0,73503	
2	0,044024	0,61809	-0,21331	0,6361	-0,91291	0,66594	-0,19824	0,94404	-0,46929	
3	0,090409	-0,73864	1,0054	0,84686	0,033377	0,024414	0,54991	-1,0052	-0,40009	
4	0,61449	-0,89615	0,28084	0,70583	-0,54195	0,19244	-1,0909	-1,0352	0,67843	
5	-0,49386	-0,5454	-0,52419	-0,61662	0,0047514	-0,30659	0,90541	-0,87824	-0,6562	
6	0,5202	1,2348	0,67282	0,15982	0,15621	0,92366	0,17149	0,16629	-0,38464	
7	0,91381	-0,43355	0,047097	0,95277	0,54221	0,16932	1,0051	-1,0277	0,49118	
8	-0,64269	-0,52002	-0,70196	0,72199	-0,082409	0,82479	1,0203	-0,38309	1,0253	
9	-0,24855	0,13141	0,061326	0,83178	0,16925	-1,2878	0,052673	-0,35443	1,7161	
10	0,7992	0,66546	0,43854	0,42241	0,074265	0,16573	0,90476	0,9942	-1,1577	
11	0,2721	0,58963	-0,51607	0,77627	0,63475	-0,75726	-0,31164	-0,64656	-0,59807	

- 15 4. El método según la reivindicación 1, en el que los pesos de conexión entre las 11 neuronas de la capa oculta y las 2 neuronas de la capa de salida son

Capa oculta →												
Capa Salida	Neuronas y pesos asociados	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0,32131	-0,79766	0,2009	-0,75207	0,50661	0,40212	0,29476	1,1051	1,3817	-0,60281	0,045794	
2	0,32787	-0,28839	1,0078	0,62465	-0,2826	0,22563	-0,63747	-0,6385	-1,0212	1,0518	-0,30744	

5. Un sistema de detección de vertidos de hidrocarburos en el océano (101) que analiza una imagen SAR (201) obtenida mediante la emisión de pulsos de radiación electromagnética (104) con longitud de onda entre 3,75 cm y 7,5 cm, correspondiente a la banda C en el rango de las microondas, y la posterior medida de la radiación electromagnética reflejada (106), a la que se le incorporan la velocidad del viento y el ángulo de incidencia de la zona correspondiente a la imagen obtenida, que comprende un sistema informático (110) con uno o varios procesadores y una memoria, donde el procesador ejecuta las instrucciones almacenadas en la memoria, las instrucciones comprenden:
- a) calibrado y georreferenciado de la imagen SAR;
  - 10 b) preprocessado de la imagen obtenida en el paso anterior para enmascarar las zonas de la imagen que corresponden a tierra y reducir el ruido de las imágenes;
  - c) segmentación de la imagen preprocessada estableciendo de forma automática la aplicación de una función exponencial negativa o una función polinómica de cuarto grado que calcula un umbral adaptativo de forma automática en función de la intensidad, la velocidad del viento, donde la velocidad del viento se calcula a partir de la propia imagen SAR, y del ángulo de incidencia de cada píxel de la imagen SAR, aplicar la función de umbral adaptativo, para obtener el umbral adaptativo en cada píxel de la imagen para etiquetarlo como candidato a presentar vertido, si el valor de intensidad del píxel es menor o igual que el umbral adaptativo, o como punto sin vertido, si el valor de intensidad del píxel es mayor que el umbral adaptativo, aplicar un filtro de área a las zonas etiquetadas como candidato a presentar vertido de hidrocarburo para eliminar aquellas zonas con un área menor que un valor  $A_{min}$ , y aplicar un filtro de viento a las zonas etiquetadas como candidato a presentar vertido de hidrocarburo para eliminar aquellas zonas en las que la velocidad del viento sea menor que un valor  $v_{min}$ ;
  - 15 d) caracterización de las zonas segmentadas en la etapa anterior y etiquetado como candidatas a presentar vertido de hidrocarburo calculando un vector de características para cada zona formado por los siguientes parámetros: rectangularidad; circularidad; elongación; Área/Perímetro (APR); Eje Mayor/Perímetro (MPR); grosor; momentos invariantes a traslación, rotación y escalado tales como Momento Hu1, Momento Hu2, Momento Hu3, Momento Hu4, Momento Hu5, Momento Hu6, Momento Hu7, Momento Flusser&Suk1, Momento Flusser&Suk2, Momento Flusser&Suk3 y Momento Flusser&Suk4; velocidad del viento; ángulo de incidencia; intensidad media de los píxeles pertenecientes al candidato; y cociente de la intensidad media de los píxeles pertenecientes al candidato y la intensidad media de los píxeles del área circundante al candidato, y aplicar un análisis de componentes principales al vector de características para reducir su tamaño y obtener un vector de características reducido;
  - 20 e) clasificación de las zonas segmentadas como zona con presencia o ausencia de vertido de hidrocarburo aplicando una red neuronal perceptrón multicapa, con una capa de entrada de 9 neuronas, una capa oculta de 11 neuronas y una capa de salida de 2 neuronas, a los vectores de características reducidos que clasifica las zonas segmentadas como con presencia o ausencia de hidrocarburos; y
  - 25 f) generación de una lista de zonas georeferenciadas en las que hay presencia de vertido de hidrocarburos.
- 30 6. El sistema según la reivindicación 5 en el que la función de umbral adaptativo empleada se selecciona de forma automática en función del ángulo de incidencia y de la velocidad del viento del píxel considerado de la imagen SAR, comprendiendo los siguientes coeficientes:
- 35 a) si la velocidad del viento es menor que 4 m/s se aplica la función polinómica de cuarto grado  $6,3662 \cdot 10^{-6} \cdot x^4 - 0,00083671 \cdot x^3 + 0,041262 \cdot x^2 - 0,90719 \cdot x + 7,5353$  para ángulos de incidencia menores de 37.8º y la función exponencial negativa  $5,9169 \cdot e^{-0,17881 \cdot x}$  para ángulos de incidencia mayores de 37.8º;
  - 40 b) si la velocidad del viento es menor que 5m/s y mayor que 4m/s se aplica la función polinómica de cuarto grado  $3,0874 \cdot 10^{-6} \cdot x^4 - 0,00043845 \cdot x^3 + 0,023424 \cdot x^2 - 0,55931 \cdot x + 5,0588$  para ángulos de incidencia

menores de  $36.25^\circ$  y la función exponencial negativa  $6.6689 \cdot e^{-0.17944 \cdot x}$  para ángulos de incidencia mayores de  $36.25^\circ$ ;

- 5 c) si la velocidad del viento es menor que 6 m/s y mayor que 5 m/s se aplica la función polinómica de cuarto grado  $2.1022 \cdot 10^{-6} \cdot x^4 - 0.00031131 \cdot x^3 + 0.017414 \cdot x^2 - 0.4365 \cdot x + 4.1503$  para ángulos de

incidencia menores de  $36.82^\circ$  y la función exponencial negativa  $5.7770 \cdot e^{-0.17217 \cdot x}$  para ángulos de incidencia mayores de  $36.82^\circ$ ;

- 10 d) si la velocidad del viento es menor que 7 m/s y mayor que 6 m/s se aplica la función polinómica de cuarto grado  $2.7742 \cdot 10^{-6} \cdot x^4 - 0.00039094 \cdot x^3 + 0.02086 \cdot x^2 - 0.50088 \cdot x + 4.5883$  para ángulos de

incidencia menores de  $37.52^\circ$  y la función exponencial negativa  $5.4477 \cdot e^{-0.16858 \cdot x}$  para ángulos de incidencia mayores de  $37.52^\circ$ ; y

- 15 e) si la velocidad del viento es mayor que 7 m/s se aplica la función polinómica de cuarto grado  $1.2416 \cdot 10^{-6} \cdot x^4 - 0.00019466 \cdot x^3 + 0.011604 \cdot x^2 - 0.31143 \cdot x + 3.182$  para ángulos de incidencia menores de  $36.8^\circ$  y

la función exponencial negativa  $6.2053 \cdot e^{-0.17101 \cdot x}$  para ángulos de incidencia mayores de  $36.8^\circ$ .

7. El sistema según la reivindicación 5, en el que los pesos de conexión entre las 9 neuronas de la capa entrada y las 11 neuronas de la capa de salida son

← Neuronas de la capa de entrada →										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	0,09216	0,58778	0,40732	0,9161	0,21979	0,80927	-0,36141	0,76633	-0,73503	
2	0,044024	0,61809	-0,21331	0,6361	-0,91291	0,66591	-0,19824	0,94404	-0,16929	
3	0,090409	-0,73864	1,0054	0,84686	0,033377	-0,024414	-0,54991	-1,0052	-0,40009	
4	0,61449	-0,89615	0,28084	0,70583	-0,54195	0,19244	-1,0905	-1,0352	0,57843	
5	-0,49386	-0,5454	-0,52419	-0,61662	0,0047514	-0,30659	0,90541	-0,87824	-0,6562	
6	0,5202	1,2348	0,67282	-0,15982	0,15621	0,92366	0,17149	0,16629	-0,38464	
7	0,91381	-0,43355	0,047097	0,95277	0,54221	0,16932	1,0051	-1,0277	0,49118	
8	-0,64269	-0,52002	-0,70196	0,72199	-0,082409	0,82479	1,0203	-0,38309	1,0253	
9	0,24855	0,13141	0,061326	0,83178	0,16925	1,2878	0,052673	0,35443	1,7161	
10	0,7992	0,66546	0,43854	-0,42241	0,074265	-0,16573	0,90476	0,9942	-1,1577	
11	0,2721	0,58963	-0,51607	0,77627	0,63475	-0,75726	-0,31164	-0,64656	-0,59807	

8. El sistema según la reivindicación 5, en el que los pesos de conexión entre las 11 neuronas de la capa oculta y las 2 neuronas de la capa de salida son

Capa oculta →											
Capa Salida	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Neuronas y pesos asociados	0,32131	-0,79766	0,2009	-0,75207	0,50661	0,40212	0,29476	1,1051	1,3817	-0,60281	0,045794
1	0,32131	-0,79766	0,2009	-0,75207	0,50661	0,40212	0,29476	1,1051	1,3817	-0,60281	0,045794
2	0,32787	-0,28839	1,0078	0,62465	-0,2826	0,22563	-0,63747	-0,6385	-1,0212	1,0518	-0,30744

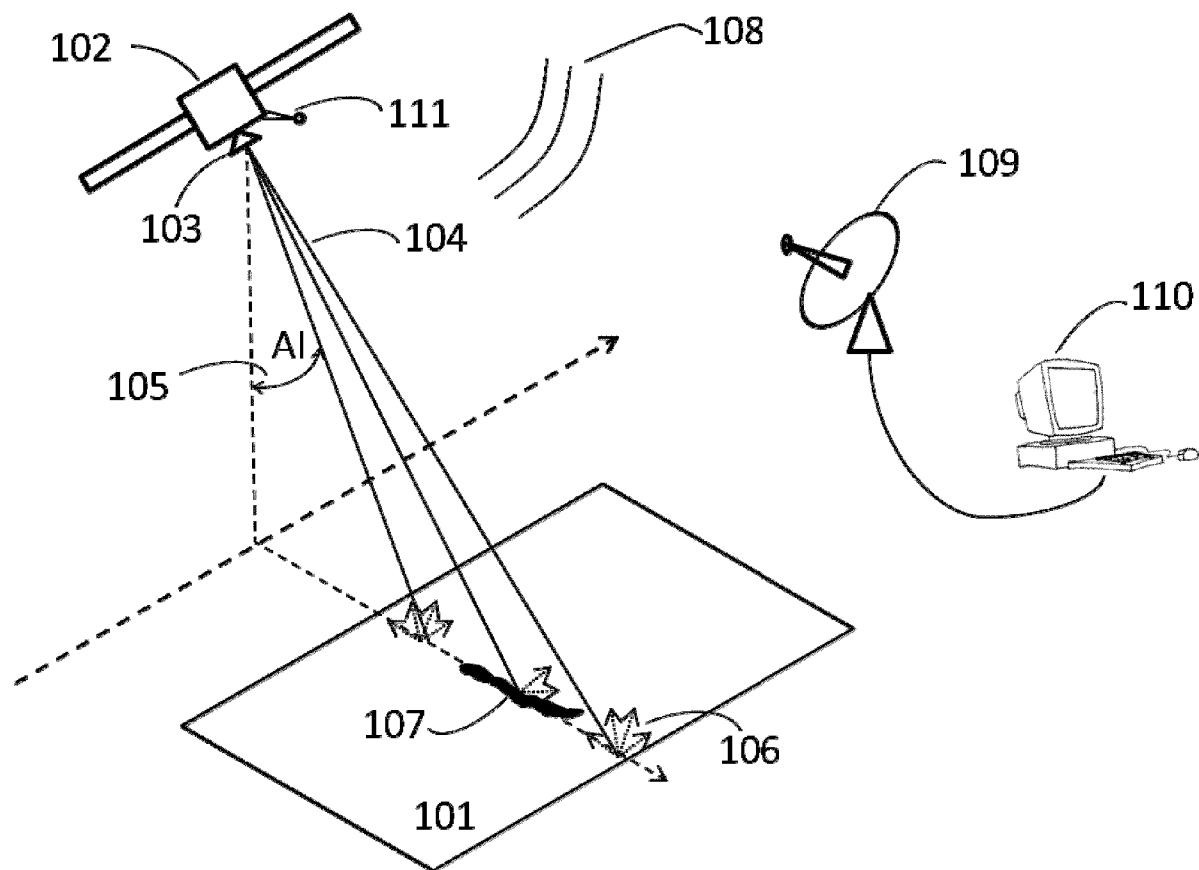


Figura 1

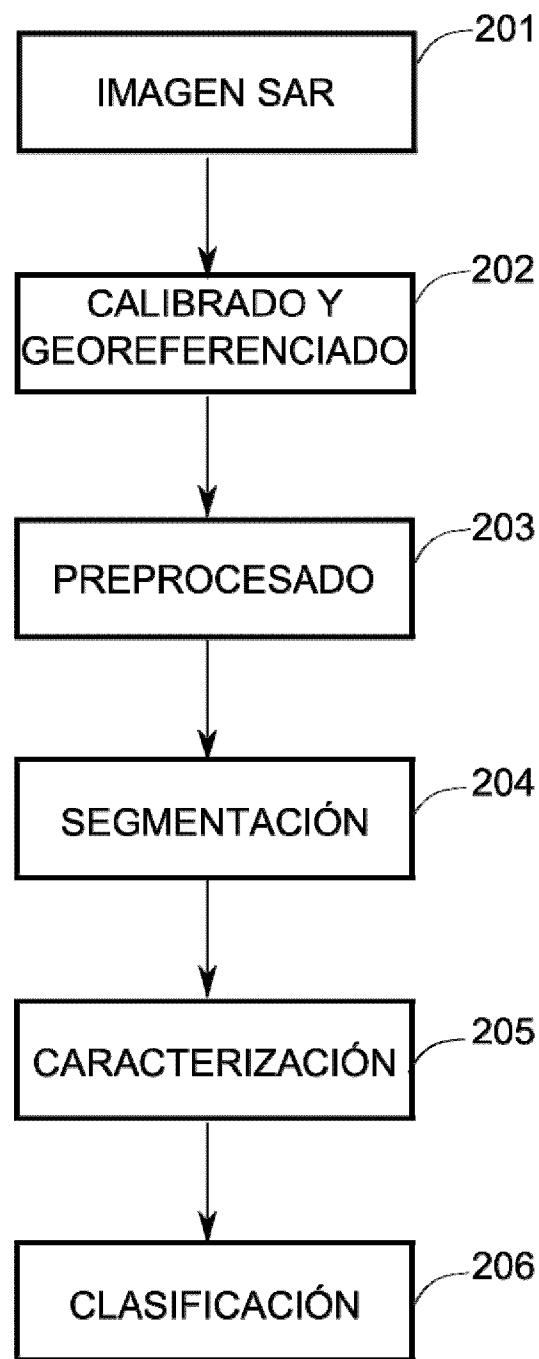


Figura 2

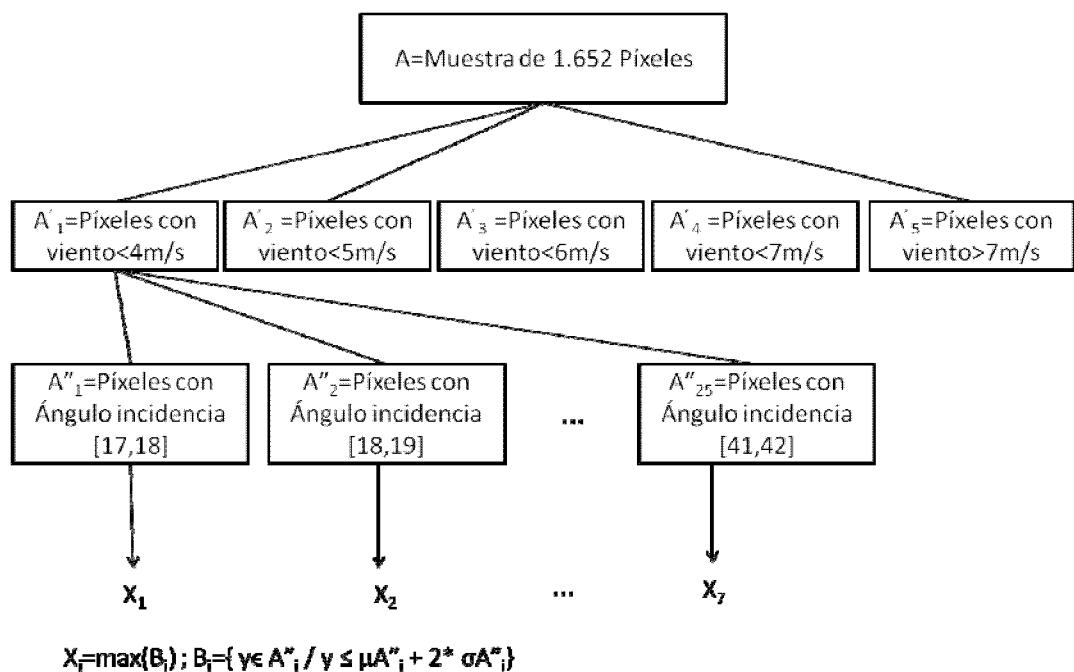


Figura 3

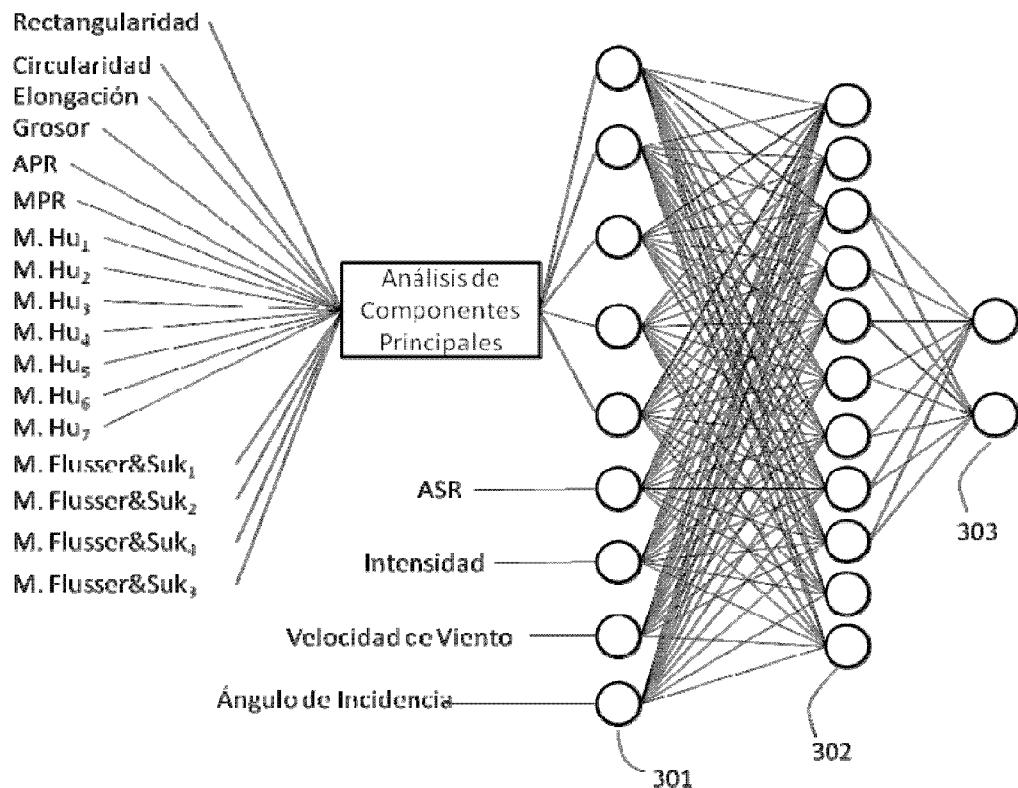


Figura 4

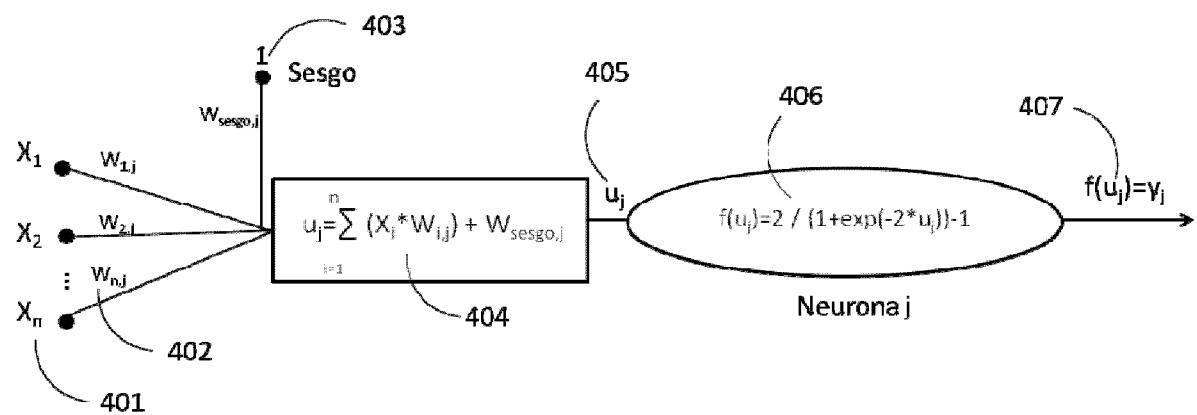


Figura 5

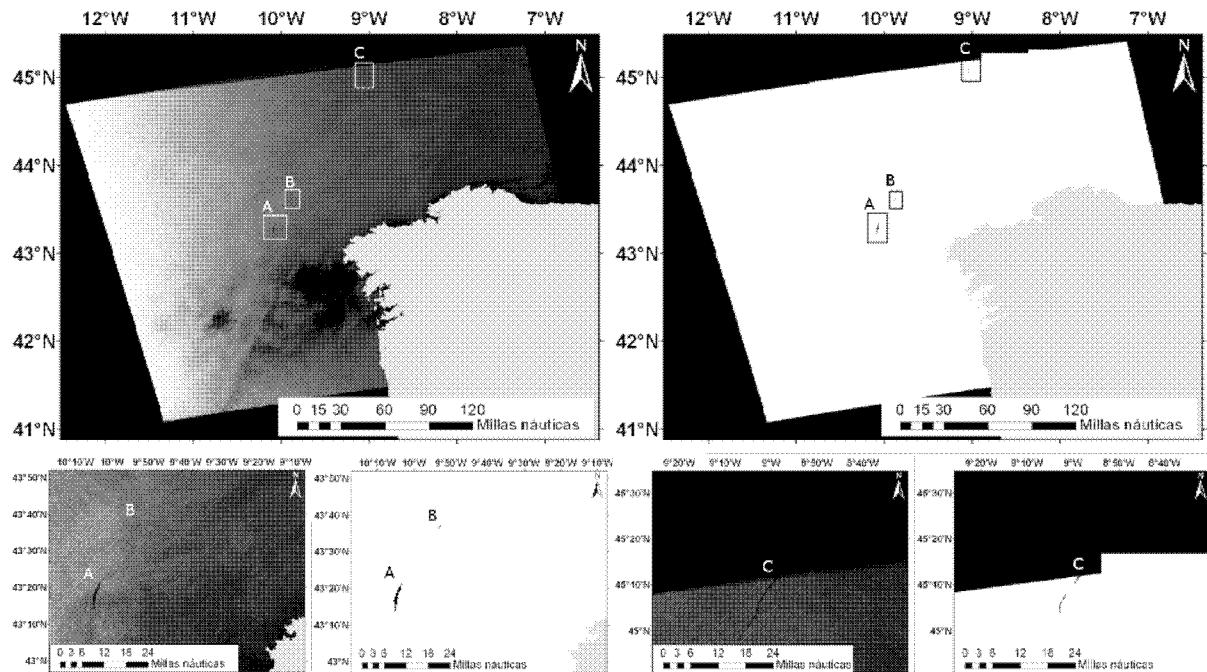


Figura 6



②1 N.º solicitud: 201231203

②2 Fecha de presentación de la solicitud: 26.07.2012

③2 Fecha de prioridad:

## INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤1 Int. Cl.: **G01N33/18** (2006.01)  
**G01S13/90** (2006.01)

### DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	BREKKE et al. "Oil spill detection by satellite remote sensing". Remote Sensing Of Enviroment 95 (2005). ELSEVIER. ISSN 0034-4257. 15.03.2005. Páginas de la 1 a 13.	1-3,9,10
Y		4-8
Y	J. KARVONEN et al., "Oil Spill Detection with RADARSAT-1 in the Baltic Sea". IEEE International Conference on Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2006. IGARSS 2006. IEEE Piscataway, NJ, USA. 01.07.2006. ISBN 978-0-7803-9510-7; páginas 4092-4095. Todo el documento.	4-8
A	YONG-FENG SUO et al. "Review on the Key Technology of Real-Time Oil Spill Monitoring System Based on Marine Radar". 2012 2nd International Conference on Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering (RSETE). IEEE Piscataway, NJ, USA. 01.06.2012. ISBN 978-1-4673-0872-4, páginas 1-4. Todo el documento.	1-10

#### Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

#### El presente informe ha sido realizado

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe 26.11.2012	Examinador M. Rivas Sáiz	Página 1/5
------------------------------------------------	-----------------------------	---------------

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

G01N, G01S

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, INSPEC

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 26.11.2012

**Declaración**

<b>Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)</b>	Reivindicaciones 2-10 Reivindicaciones 1	SI NO
<b>Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)</b>	Reivindicaciones Reivindicaciones 2-10	SI NO

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

**Base de la Opinión.-**

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

### 1. Documentos considerados.-

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	BREKKE et al. "Oil spill detection by satellite remote sensing". Remote Sensing Of Environment 95 (2005). ELSEVIER. ISSN 0034-4257. 15.03.2005. Páginas de la 1 a 13.	15.03.2005
D02	J. KARVONEN et al., "Oil Spill Detection with RADARSAT-1 in the Baltic Sea". IEEE International Conference on Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2006. IGARSS 2006. IEEE Piscataway, NJ, USA. 01.07.2006. ISBN 978-0-7803-9510-7; páginas 4092-4095. Todo el documento.	01.07.2006
D03	YONG-FENG SUO et al. "Review on the Key Technology of Real-Time Oil Spill Monitoring System Based on Marine Radar". 2012 2nd International Conference on Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering (RSETE). IEEE Piscataway, NJ, USA. 01.06.2012. ISBN 978-1-4673-0872-4, páginas 1-4. Todo el documento.	01.06.2012

### 2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración

El documento D01 se considera el más próximo del estado de la técnica a la invención solicitada.

Con relación a la reivindicación 1, D01 describe un método de detección de vertidos de hidrocarburos en el océano (resumen) que comprende:

- emitir pulsos de radiación electromagnética, cuya longitud de onda está entre 3,75 y 7,5cm, que se corresponde a la banda C en el rango de las microondas, hacia el océano; (segundo párrafo de la primera columna de la página 2 y tabla 1);
- medir la radiación electromagnética reflejada por el océano; (segundo párrafo de la primera columna de la página 2)
- generar una imagen formada por una pluralidad de píxeles en los que cada píxel indica la cantidad de radiación reflejada por el océano (segundo párrafo de la primera columna de la página 2)
- incorporar los datos de viento de la zona en la que se enviaron los pulsos de radiación electromagnética (segundo párrafo, primera columna de la página 6);
- procesado de los datos obtenida (epígrafe 5); y
- generación de una lista de zonas en las que existen hidrocarburos (epígrafe 5).

A la vista de lo expuesto anteriormente se concluye que la reivindicación 1 no es nueva. (Artículo 6 LP.).

Con respecto a la reivindicación 2, en D01 la etapa e) de procesado de la imagen comprende:

- calibrar la imagen SAR (último párrafo de la primera columna de la página 8)
- preprocesado de la imagen obtenida en el paso anterior; (último párrafo de la primera columna de la página 8)
- segmentación de la imagen obteniendo una serie de zonas segmentadas candidatas a presentar vertido de hidrocarburo (figura 4 y epígrafe 5.1)
- caracterización de las zonas segmentadas (figura 4 y epígrafe 5.2); y
- clasificación de las zonas segmentadas como zona con presencia o ausencia de vertido de hidrocarburo (figura 4 y epígrafe 5.3)

La diferencia entre D01 y la reivindicación 2 es que D01 no indica explícitamente que se georreferencia la imagen pero esta etapa es comúnmente aplicada e incorporarla a la invención no dota a ésta de actividad inventiva. Por tanto, la reivindicación 2 no implica actividad inventiva (Artículo 8 LP.).

En D01 el preprocesado incluye enmascarar las zonas de la superficie que se correspondan con zonas de tierra y la reducción de ruido speckle (último párrafo de la primera columna de la página 8).

D01 no indica que se aplique un filtro paso bajo, sin embargo si hace un procesamiento para reducir un tipo de ruido. El hecho de aplicar un filtro paso bajo a una imagen para reducir el ruido de alta frecuencia y facilitar su procesamiento es una técnica habitual. El mismo documento D01 propone utilizar un filtro de mediana con una ventana de 5x5 (página 4). Por tanto, aplicar este tipo de filtros en el reprocesado es obvio para un experto en la materia. A modo ilustrativo el documento D02 propone distintas técnicas para el preprocesado. Por consiguiente, la reivindicación 3 no cumple el requisito de actividad inventiva (Artículo 8 LP.).

En relación a la reivindicación 4. El método de D01 propone utilizar un método de segmentación basado en un umbral adaptativo (epígrafe 5.1). Sin embargo D01 no propone que ese umbral adaptativo sea función de la velocidad del viento y del ángulo de incidencia. El efecto técnico de esta diferencia es permitir mejorar la segmentación. El problema técnico es cómo realizar una segmentación más eficaz.

El documento D02, describe un método para la detección de hidrocarburos y para la segmentación aplica, entre otras alternativas, una función que determina el umbral utilizando como parámetros el viento y en ángulo de incidencia (ver página 2 de D02).

Además cabe indicar que, en la página 3 de D02, se implementa un filtro de área con un área menor que un valor  $A_{min}$ . Con respecto al filtro de viento D01 expone que no es posible detectar vertidos de hidrocarburos en zonas de bajo viento (ver tabla 2 de D01). Pasar de esta afirmación a un filtro de zonas en las que la velocidad del viento sea menor que un valor  $v_{min}$  no implica actividad inventiva al ser una implementación directa de la afirmación de D01.

Por tanto, a la vista del razonamiento anterior, un experto en la materia combinaría las características de D01 con la función que determina el umbral utilizando como parámetros el viento y el ángulo de incidencia, descrita en D02, para obtener la reivindicación 4 sin ayuda de la actividad inventiva.

En consecuencia, la reivindicación 4 no implica actividad inventiva (Artículo 8 LP.).

Las reivindicaciones 5 y 6 describen implementaciones concretas de funciones para calcular el umbral. Dichas funciones no están descritas ni en D01 ni D02 y tiene como efecto técnico ajustar de formas más precisa el umbral y por consiguiente mejorar la eficacia del método de detección de hidrocarburos. Por tanto, las reivindicaciones 5 y 6 son nuevas e implican actividad inventiva (Artículos 6 y 8 LP.).

Con relación a la reivindicación 7, el documento D01 expone una etapa de cálculo de características de las zonas etiquetadas como candidatas. Sin embargo, D01 no establece la aplicación de análisis de componentes principales al vector de características. El efecto técnico de esta diferencia, es reducir su tamaño para facilitar su procesado. El problema técnico es como mejorar el procesado de vectores de características.

La técnica utilizada en la reivindicación 7 es una técnica conocida, cuya mera utilización no dota a la invención de actividad inventiva. A modo ilustrativo se cita el documento D03 donde se utiliza el análisis de componentes principales para la detección de hidrocarburos.

La reivindicación 8 describe un conjunto de parámetros utilizadas en la clasificación. Alguna de ellas están incluidas en la tabla 4 descrita en D01 y todas ellas son parámetros que caen dentro de los elementos a caracterizar en el punto 5.2 de D01, por ejemplo forma y geometría de los segmentos, características físicas del nivel de difusión del punto y su entorno etc.... No se aprecia que el hecho de utilizar un determinado parámetro para caracterizar un aspecto produzca un efecto técnico diferenciador sino más bien se considera una mera selección. Por tanto, aunque alguno de los parámetros indicados en la reivindicación 8 no aparece descritos en D01, se concluye que esto no dota a la reivindicación de actividad inventiva. Por consiguiente la reivindicación 8, no cumple el requisito de actividad inventiva (Artículo 8 LP.).

El documento D01 divulga la utilización de una red perceptrón multicapa para la clasificación y por tanto la reivindicación 9 no implica actividad inventiva (Artículo 8 LP.).

La reivindicación independiente 10, es una reivindicación de sistema donde sus elementos están caracterizados de manera funcional para la realización del método de las reivindicaciones 1 a 9. Dado que el método no es inventivo, el sistema caracterizado de esta manera tampoco cumple dicho requisito. Por tanto la reivindicación 10 no implica actividad inventiva (Artículo 8 LP.).