

Exploración de filtros espaciales y morfológicos en escenarios reales

Alberto Madejon Martin,
César Nicolás Forero Velasco,
David Velasco Ayuso,
Monica Nogales Rodriguez,
Rafael Andrade Cortegoso

Enero 20, 2025

Abstract

El presente trabajo tiene como objetivo la revisión bibliográfica, la implementación, la justificación y la interpretación de los resultados de aplicar filtros morfológicos y espaciales a imágenes satelitales en color de buques para realzar sus bordes y segmentarlos. Los filtros espaciales que se van a utilizar son el operador de Roberts, los operadores de Prewitt, los operadores de Sobel y el algoritmo de Canny. El realce de bordes ha mostrado unos resultados satisfactorios siendo el más efectivo el de Canny tal como avala la literatura científica. Los filtros morfológicos utilizados son la apertura, el cierre, la erosión, la dilatación, el gradiente morfológico y top-hat. La segmentación mediante filtros morfológicos ha sido capaz de diferenciar los buques del background consolidando este tipo de filtros como una herramienta poderosa para la segmentación de objetos industriales de carácter naval. Se concluye que mediante operadores morfológicos y operadores espaciales es posible tanto realzar con cierta garantía los bordes de objetos presentes en imágenes industriales como su diferenciación frente al background.

I. INTRODUCCIÓN

La morfología matemática es una técnica no lineal ampliamente utilizada en el análisis de objetos que se basa en una serie de operaciones fundamentales (dilatación, erosión, apertura, cierre, top-hat y bottom-hat) que operan sobre las relaciones topológicas y la geometría de los elementos presentes en la imagen. En ocasiones puede no ser suficiente la aplicación única de estas operaciones y ser necesaria el encadenamiento de ellas. Además, como es común en la literatura científica, los resultados se presentarán en blanco y negro. Esta serie de operadores se utilizan para la extracción de características, reducción del ruido o la detección de bordes (Ruiz Fernández,). Uno de los aspectos clave de la morfología matemática es el elemento estructurante (ES), este permite que las operaciones morfológicas se apliquen de manera eficiente, ajustando la forma y estructura de los objetos de la imagen (Castro Casadiego et al.,) pro-

pusieron un proyecto de umbralización y búsqueda de contornos donde se definió de manera previa y detallada el elemento estructurante utilizado.

Respecto a los operadores espaciales, su principal objetivo de cara a la detección de bordes es minimizar la cantidad de datos que van a ser procesados (Bhaduria, Singh, & Kumar,) (Amer & Abushaala,). En la literatura se encuentran filtros paso alto, filtros paso bajo y filtros de detección de bordes basados en el gradiente tales como el operador de Roberts, el operador de Prewitt, los operadores de Sobel y el algoritmo de Canny (Universidad Internacional de La Rioja, s.f.). La literatura también nos dice que el filtro de Canny es el más útil bajo condiciones de ruido y el más costoso computacionalmente (Bhaduria et al.,). Además, a través de este filtro espacial (Amer & Abushaala,) fueron capaces de separar las porciones oscuras de una imagen de las porciones claras, con aplicaciones muy útiles en el campo de la medicina. Es por ello por lo que las aplicaciones de este tipo

de filtros van más allá de la detección de bordes en imágenes industriales navales que es lo de que trata el presente trabajo. Además, como mencionan (Amer & Abushaala,), el algoritmo de Robert que es más sensible al ruido y puede llegar a producir respuestas débiles frente a bordes realmente genuinos.

En este proyecto, se persiguen varios subobjetivos clave: primero, identificar y analizar los filtros espaciales y morfológicos más efectivos para el realce de bordes y la segmentación de buques en imágenes industriales. Segundo, aplicar estos filtros a un conjunto seleccionado de imágenes para evaluar su eficacia en la mejora visual y diferenciación de elementos. Tercero, documentar meticulosamente el proceso y resultados de la implementación, analizando críticamente la utilidad de cada técnica en contextos reales.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

La metodología empleada en este trabajo tiene como objetivo explorar diversas técnicas de filtros espaciales y morfológicos, motivada por la problemática de contaminación marina generada por los desechos provenientes de buques que transitan ríos y terminan en los océanos (Folarin, Munin-Doce, Ferreno-Gonzalez, Ciriano-Palacios, & Diaz-Casas,). Aunque existen sistemas diseñados para recolectar estos desechos, uno de los principales desafíos radica en la identificación y clasificación de los buques que navegan en las áreas donde se aplican los tratamientos.

En este contexto, la metodología propuesta aborda este desafío mediante la aplicación de técnicas de filtros espaciales y morfológicos orientadas a facilitar la identificación de buques. Estas técnicas permiten la segmentación precisa de objetos mediante la detección y realce de bordes, lo que contribuye significativamente a resolver las dificultades asociadas con la identificación y clasificación de los mismos.

Para lograr la detección de bordes, se implementó el siguiente pipeline utilizando un Notebook de Python, aprovechando las funcionalidades que ofrece la biblioteca OpenCV:

1. **Cargar las imágenes:** Se cargan imágenes

de embarcaciones obtenidas de la biblioteca Vessel Finder. Es fundamental que las imágenes sean de alta calidad y estén bien enfocadas para asegurar resultados precisos en las etapas posteriores. Como parte del preprocesamiento, las imágenes se convierten a escala de grises, facilitando la aplicación de los filtros en los pasos siguientes.

2. **Suavizado de la imagen:** Para reducir el ruido y eliminar detalles no deseados, se aplicaron diversos filtros espaciales, analizando las diferencias entre los seleccionados y su configuración. Este proceso ayuda a destacar el objeto principal sin comprometer la información relevante de los bordes.
3. **Detección de bordes:** Se emplean técnicas de análisis de gradiente para identificar cambios significativos de intensidad en la imagen, permitiendo delimitar los bordes del objeto principal y resaltar sus formas clave.
4. **Resaltado de bordes:** Los bordes detectados se combinan con la imagen original o suavizada, mejorando la visibilidad del objeto principal y separándolo de manera más clara del fondo, lo que facilita su análisis posterior.
5. **Visualización de resultados:** Se presentan las imágenes procesadas en cada etapa del pipeline, permitiendo evaluar visualmente el rendimiento de las operaciones realizadas y ajustar los parámetros según sea necesario. Las imágenes procesadas se comparan con las originales para analizar el impacto de los filtros aplicados. Además, detecciones se resaltan en rojo.

A continuación, se describen las técnicas utilizadas en detalle, así como los procedimientos implementados para su evaluación.

I. Filtros Espaciales

Los filtros espaciales constituyen un conjunto de operadores avanzados diseñados para trabajar directamente en el dominio espacial de una imagen,

con el objetivo de mejorar su calidad o extraer información relevante. Estos filtros actúan sobre los píxeles de la imagen mediante operaciones matemáticas, utilizando una región definida alrededor de cada píxel objetivo, conocida como kernel o máscara. El kernel es una matriz que especifica cómo se combinan los valores de los píxeles vecinos para producir un nuevo valor en la imagen procesada, lo que permite realizar tareas como suavizado, realce de bordes o eliminación de ruido (Ifeachor & Jervis,).

Los filtros espaciales se pueden clasificar principalmente en filtros paso alto, filtros paso bajo y filtros de detección de bordes basados en el cálculo del gradiente.

I.1 Filtros paso alto

Los filtros de paso alto destacan las variaciones bruscas de intensidad en una imagen, lo que los hace ideales para resaltar bordes y detalles finos. Estas técnicas se basan en el uso de derivadas, tanto de primer como de segundo orden.

La derivada de primer orden tiende a generar bordes más gruesos en la imagen procesada, capturando cambios de intensidad más amplios. Por otro lado, la derivada de segundo orden produce bordes más definidos y finos, siendo más sensible a cambios locales y precisos.

En el contexto de la exploración de filtros, el objetivo era lograr un efecto opuesto al de los filtros de paso alto, buscando eliminar bordes menos prominentes y centrar la atención en áreas con menor variación de intensidad.

I.2 Filtros de paso bajo

Los filtros de paso bajo se emplean para suavizar una imagen, reduciendo las variaciones bruscas de intensidad. Son especialmente útiles para eliminar ruido, mejorar la uniformidad de las regiones y crear transiciones más suaves entre áreas con diferentes niveles de intensidad.

Una de las propiedades fundamentales de estos filtros es que el tamaño del kernel determina el grado de suavizado: a mayor tamaño del kernel, mayor es el área afectada, lo que genera un desenfoque más pronunciado, aunque también conlleva una pérdida de detalles finos en la imagen.

A continuación, se presentan las fórmulas y kernels más comunes utilizados en este tipo de filtros:

- **Filtro Promedio (Mean Filter):** El filtro promedio calcula el valor promedio de los píxeles en una vecindad, reemplazando el píxel central con este promedio. Para un kernel $n \times n$, la fórmula general es:

$$g(x, y) = \frac{1}{n^2} \sum_{i=-k}^k \sum_{j=-k}^k f(x + i, y + j)$$

donde n es el tamaño del kernel ($n = 2k + 1$) y $f(x, y)$ representa la intensidad del píxel original.

Ejemplo de kernel promedio (3x3):

$$\text{Kernel Promedio (3x3): } \frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

- **Filtro Gaussiano:** El filtro Gaussiano suaviza la imagen asignando más peso a los píxeles cercanos al centro de la vecindad, según una distribución gaussiana. Su fórmula es:

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}$$

donde σ es la desviación estándar que controla el nivel de suavizado.

Ejemplo de kernel Gaussiano discreto (3x3, $\sigma = 1$):

$$\text{Kernel Gaussiano (3x3): } \frac{1}{16} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

Una de las características principales de este filtro es que un valor bajo de σ produce un suavizado más leve y centrado en los píxeles cercanos, mientras que un valor alto de sigma produce un suavizado más fuerte y extenso.

I.3 Filtros de detección de bordes

Estos filtros, que serán empleados en la presente práctica, se basan en el cálculo del gradiente para identificar cambios significativos en la intensidad de la imagen. Entre los más destacados se encuentran el operador de Roberts, el operador de Prewitt, los operadores de Sobel y el algoritmo de Canny, cada uno con características específicas para resaltar contornos y detalles estructurales (Universidad Internacional de La Rioja, s.f.) El principal objetivo de aplicar filtros espaciales para la detección de bordes es reducir la cantidad de datos que necesitan ser procesados, enfocándose únicamente en las características relevantes de la imagen (Bhadauria et al.,) (Amer & Abushaala,).

- **Operador de Roberts:** El operador Roberts calcula las derivadas diagonales utilizando dos máscaras pequeñas de 2×2 .

$$F_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}, \quad F_y = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}$$

Es más sensible al ruido debido a la pequeña ventana.

- **Operadores de Prewitt:** El operador Prewitt utiliza máscaras más simples que no ponderan los valores centrales. Utiliza máscaras de tamaño 3×3

$$F_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad F_y = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

- **Operadores de Sobel:** El operador Sobel utiliza dos máscaras para aproximar las derivadas parciales en las direcciones horizontal (F_x) y vertical (F_y):

$$F_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad F_y = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

La diferencia con respecto al de Prewitt es que dan mayor relevancia a los píxeles cercanos al píxel de interés. Debido a que se

aplica una derivada para los píxeles en direcciones horizontales y verticales, permite detectar los bordes en ambas direcciones.

- **Operador de Canny:** El operador Canny incluye los siguientes pasos:

1. **Suavizado:** Aplicación de un filtro Gaussiano para reducir el ruido.
2. **Cálculo del gradiente:** Uso de Sobel o similar para obtener G_x , G_y , magnitud M y dirección θ .
3. **Supresión no máxima:** Identificación de los píxeles en la dirección máxima del gradiente.
4. **Umbralización con histéresis:** Eliminación de bordes débiles no conectados a bordes fuertes.

El detector de Canny de manera general, ofrece los mejores resultado de detección en cuanto a precisión y continuidad de los bordes (Bhadauria et al.,).

En este contexto, los filtros basados en la primera derivada, como los operadores de Roberts, Sobel y Prewitt, detectan bordes calculando los gradientes de intensidad en la imagen, lo que permite resaltar los cambios más significativos en los niveles de intensidad. Estos métodos son particularmente útiles para identificar bordes donde se producen transiciones abruptas.

Por otro lado, los filtros que emplean la segunda derivada, como el algoritmo de Canny, no solo identifican bordes, sino que también mejoran su precisión y reducen la influencia del ruido. Este enfoque proporciona una representación más robusta de los bordes, especialmente en imágenes con niveles de ruido elevados.

Un elemento fundamental en estos métodos es el uso de un umbral (*threshold*), que determina si un píxel se clasifica como parte de un borde. El algoritmo de Canny destaca por su excelente desempeño bajo condiciones ruidosas, gracias a su formulación basada en la suma de cuatro términos exponenciales. Este diseño permite un equilibrio eficaz entre la sensibilidad para detectar bordes y la supresión del ruido. Como resultado, el filtro de

Canny se ha consolidado como uno de los métodos más efectivos y ampliamente utilizados para la detección de bordes (Bhaduria et al.,).

II. Filtros Morfológicos

La morfología matemática es una técnica no lineal ampliamente utilizada en el análisis de imágenes digitales debido a su eficacia en tareas como la extracción de objetos, la reducción de ruido y la detección de bordes o contornos. Esta metodología se basa en un conjunto de operaciones fundamentales, como la dilatación, erosión, apertura y cierre, además de transformaciones avanzadas como *top-hat* y *bottom-hat* (Ruiz Fernández,). Estas operaciones aprovechan las relaciones topológicas y las propiedades geométricas de los elementos de la imagen, permitiendo modelar y manipular su estructura de forma precisa y eficiente.

Para aplicar los filtros descritos, se realiza un preprocesamiento que incluye la conversión de las imágenes a escala de grises, empleando la transformación definida por la ecuación 1.

$$I = (R * 0.299) + (G * 0.587) + (B * 0.114) \quad (1)$$

Donde I es el valor de intensidad del píxel en la imagen en escala de grises. R, G, B son los valores de los canales rojo, verde y azul, respectivamente.

A continuación se describen las dos operaciones más comunes que fueron empleadas en la ejecución de la exploración:

- **Erosión:** Esta operación produce un efecto de adelgazamiento en la imagen, eliminando píxeles del objeto siempre que en su vecindario exista al menos un píxel perteneciente al fondo. Su objetivo principal es reducir las regiones del objeto, eliminando detalles pequeños y desconectando componentes estrechamente unidos (Ruiz Fernández,).
- **Dilatación:** Esta operación genera un efecto de expansión en las regiones de la imagen, añadiendo píxeles al objeto siempre que en su vecindario haya al menos un píxel perteneciente al objeto. Su propósito principal es aumentar las regiones del objeto, cer-

rando pequeños huecos y conectando componentes cercanos (Ruiz Fernández,).

A partir de las operaciones básicas de filtrado morfológico se derivan los siguientes operadores a partir de su combinación:

- **Apertura:** Encadenamiento de una erosión seguida de una dilatación. Se utilizó principalmente para eliminar el ruido de la imagen causado por pequeños objetos.
- **Cierre:** Encadenamiento de una dilatación seguida de erosión. Se utilizó para fusionar objetos discontinuos que estaban separados por un estrecho margen.
- **Gradiente Morfológico:** Este filtro se obtiene calculando la diferencia entre la dilatación y la erosión de una imagen. Su principal objetivo es resaltar los bordes al generar una imagen que contiene únicamente los contornos del objeto, destacando las transiciones significativas entre el objeto y el fondo.
- **Top Hat:** Esta operación permite extraer detalles pequeños y brillantes de una imagen a partir de la diferencia en el resultado de imagen original y abierta, capturando detalles finos que se encuentran opacados por el fondo de la imagen.
- **Black Hat:** Contrario a la anterior operación, permite obtener detalles pequeños y oscuros de la imagen calculando la diferencia entre la imagen cerrada y original.

Para la aplicación de los operadores se utilizaron como elementos estructurantes rectángulos ya que representan una topología similar al objeto de estudio que son los barcos.

III. RESULTADOS

El pipeline seguido para el tratamiento de las imágenes seleccionadas se divide en dos partes:

1. Preprocesamiento, sección en la que empleamos los operadores espaciales. El principal fin de esta sección es conseguir resaltar los bordes más destacables de los buques y

eliminar detalles de las imágenes como el fondo para detectar más fácilmente el objeto principal.

2. Segmentación, sección en la que empleamos filtros morfológicos, con el fin de detectar los diferentes bordes que presentan los buques y expandirlos hasta conseguir llenar el área delimitado por los bordes.

Las imágenes seleccionadas para el estudio de los filtros espaciales y morfológicos son las mostradas en la figura 1, el resto de imágenes empleadas en el estudio se pueden encontrar en la figura 8 de los Anexos.



Figura 1: Imágenes de buques luego de aplicar filtros espaciales y morfológicos

Destacamos que el estudio de estos filtros ha sido realizado sobre las imágenes en escala de grises, con el fin de facilitar el tratamiento. Para mostrar los resultados escogemos dos imágenes de las cinco tratadas que muestran cambios más significativos o algunos que hay que tener en cuenta. El resto de los resultados obtenidos para el resto de imágenes estudiadas los mostraremos en la figura 8 de los Anexos.

I. Preprocesamiento

En primer lugar, aplicaremos los filtros espaciales, tras realizar diversas pruebas con las imágenes seleccionadas utilizando diferentes tipos de suavizados y métodos de detección de bordes. La configuración óptima y que mejores resultados proporciona sobre nuestras imágenes es la siguiente:

- Suavizado de Gauss con kernel de tamaño 5×5 y un valor de sigma igual a 3. Encargado de difuminar los detalles más pequeños de las imágenes.
- Filtro de Canny: Detecta los bordes presentes en la imagen suavizada
- Reconstrucción de la imagen: Se suman los bordes más relevantes a la imagen original para resaltarlos con el fin de resaltar los bordes al máximo posible para poder enfatizar los límites del objeto principal, en este caso el buque de cada imagen.

Mostramos los resultados obtenidos por la configuración de los filtros espaciales mencionados en la figura 2.



Figura 2: Imágenes de buques al aplicar filtros espaciales

Fijándonos en las imágenes tras aplicar los filtros espaciales, observamos que se ha conseguido reducir el ruido y eliminar detalles no deseados difuminando el fondo. Se ha utilizado un filtro de tamaño considerado, por lo que el suavizado resulta ser más intenso, ya que se promedian más píxeles. Como resultado se obtiene que el objeto principal en cada imagen se destaca levemente.

También al aplicar el filtro de Canny, observamos que los bordes del objeto principal se consiguen identificar ligeramente permitiendo así resaltar las formas más importantes, por tanto, es posible detectar los cambios significativos de intensidad que estos objetos en las imágenes presentan. Sin embargo, los detalles no se observan claramente con solo aplicar el filtro de Canny, es por ello por lo que realizamos el resultado de bordes mediante la reconstrucción, combinando las imágenes originales con los bordes detectados por Canny, de esta manera se ha mejorado la visibilidad de los bordes y se conseguido distinguir más claramente el buque del fondo.

II. Segmentación

Una vez se ha preprocesado la imagen utilizamos una sucesión de operadores morfológicos para realizar la segmentación. Se han realizado diferentes pruebas variando los tamaños de los kernel empleados por cada técnica, hasta encontrar la sucesión de operadores que ha mostrado mejores resultados. Esta sucesión es la siguiente:

- Gradiante morfológico con kernel de tamaño 31x31, operador encargado de realizar la detección de bordes.
- Dilatación con kernel de tamaño 25x25, operador encargado de hacer más notables los bordes.
- Cierre con kernel de tamaño 25x25, operador encargado de llenar el área delimitados por los bordes detectados.
- Apertura con kernel de tamaño 31x31, operador encargado de separar las áreas de los diferentes objetos detectados. Aun con el preprocesamiento si el buque no se encuentra en mar abierto se pueden detectar bordes en tierra.
- Erosión con kernel de tamaño 85x85, operador encargado de eliminar los objetos secundarios detectados. Se ha observado que es necesario utilizar un kernel muy grande para conseguir detectar los objetos secundarios.
- Dilatación con kernel de tamaño 35x35, operador encargado de reconstruir todas las partes no erosionadas.

Finalmente, en la figura 3, utilizamos las máscaras obtenidas en el proceso de segmentación para identificar, en la imagen original, que áreas han sido detectadas por todo el tratamiento realizado como buque.

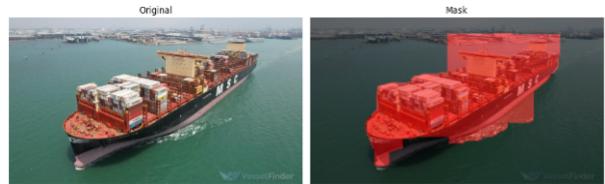


Figura 3: Imágenes detectadas usando operadores morfológicos

Tras realizar estas transformaciones con el fin de manipular la forma de los objetos, observamos que hemos conseguido identificar y resaltar en su mayoría las principales formas que muestran los buques. Gracias a la apertura hemos logrado eliminar los detalles del fondo, con la operación de cierre hemos conseguido llenar los huecos que se mostraban dentro del objeto. Con la operación de dilatación, hemos sido capaces de expandir la imagen del objeto haciendo que se cubran áreas cercanas y, por último, mediante la erosión hemos logrado que los bordes del objeto se reduzcan, atenuando los detalles y las pequeñas irregularidades que se mostraban.

Con las dos imágenes mostradas observamos que el primer requisito necesario para tener éxito al aplicar estos filtros es que la imagen tenga buena calidad. Hemos experimentado esto gracias a la primera imagen, donde hemos conseguido distinguir el buque al completo, ya que se trata de una imagen de buena calidad realizada en mar abierto. Por el contrario, hemos observado que estos filtros no han conseguido detectar el objeto en su mayoría como es el caso de la segunda imagen mostrada. En ella observamos que hay elementos que no se detectan completamente o cuya separación respecto al fondo es limitada, debido a que la operación de apertura no consiguió separar completamente el fondo de la imagen que muestra un área del puerto y el buque. Además, de no detectar los bordes en la proa del buque debido al contraste bajo que muestra la imagen en esa parte.



IV. CONCLUSIONES

Como hallazgos clave se pueden destacar los resultados exitosos obtenidos durante la aplicación de los filtros espaciales y los resultados parcialmente exitosos obtenidos durante la aplicación de

los filtros morfológicos. A través del suavizado gaussiano fuerte, el filtro de Canny y la superposición de los bordes detectados sobre la imagen original se verifica el éxito con el que se ha conseguido reducir el ruido y eliminar detalles no deseados sobre las imágenes utilizadas para este estudio. Por otra parte, tras la aplicación de los filtros morfológicos, hemos sido capaces de en la mayoría de las ocasiones resaltar parcialmente las formas que toman los buques. No obstante, la aplicación de los filtros morfológicos presenta ciertas limitaciones ya que, aunque en gran medida hemos sido capaces de identificar los buques, estos no son identificados completamente bajo ciertas condiciones. Algunos elementos de los buques cuyas áreas presentan mayor complejidad estructural o ciertos detalles finos no han sido completamente detectados. Además, aquellas zonas de la imagen donde existe ausencia de un alto contraste, como es el caso de los bordes del barco y el fondo del mar tampoco se han detectado correctamente. Sin embargo, las áreas grandes y homogéneas han sufrido una segmentación más evidente. Por ello los métodos empleados han resultado ser un caso de éxito parcial puesto que el objetivo era separar el background de los buques y en la mayor parte de las imágenes se ha conseguido. Como líneas de trabajo futuro se proponen la adecuación de nuevos filtros morfológicos al pipeline de procesamiento tales como el bottom-hat u otras posibles combinaciones de los mismos. Además, se podrían aplicar las técnicas utilizadas en vez de para la detección de buques en imágenes industriales navales, para la detección de basura marítima con el objetivo de reducir la contaminación en estos lugares.

- Castro Casadiego, S., Sanchez Mojica, K. Y., Puerto, K., Niño, C., Medina Delgado, B., Guevara-Ibarra, D. (2021). Efecto de los filtros morfológicos en los procesos de detección de objetos en movimiento. *Mundo FESC*, 11(21 (2021)), 87–95.
- Folarin, A., Munin-Doce, A., Ferreiro-Gonzalez, S., Ciriano-Palacios, J. M., Diaz-Casas, V. (2024). Real time vessel detection model using deep learning algorithms for controlling a barrier system. *Journal of Marine Science and Engineering*, 12(8), 1363.
- Ifeachor, E. C., Jervis, B. W. (2002). *Digital signal processing: a practical approach*. Pearson Education.
- Ruiz Fernández, L. Á. (2020). Aplicación de filtros morfológicos en imágenes.

REFERENCIAS

- Amer, G. M. H., Abushaala, A. M. (2015). Edge detection methods. In *2015 2nd world symposium on web applications and networking (wswan)* (pp. 1–7).
- Bhadauria, H., Singh, A., Kumar, A. (2013). Comparison between various edge detection methods on satellite image. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 3(6), 324–328.

V. ANEXOS

El código fuente utilizado para el procesamiento de las imágenes así como los resultados se encuentran en el siguiente repositorio de Github

A continuación se encuentran los filtros y operadores empleados así como el resultado para las diferentes imágenes:

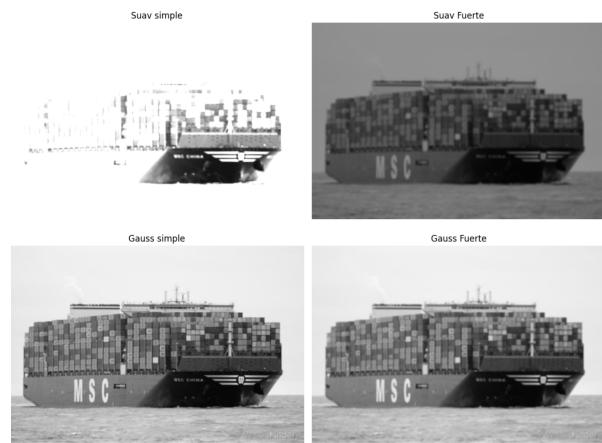


Figura 4: Imágenes Suavizadas usando Kernel 3x3, 5x5, Gaussiano 3x3 y Gaussiano 5x5 respectivamente

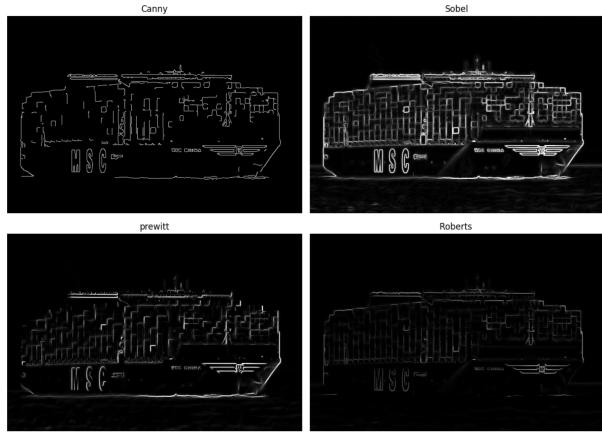


Figura 5: Imágenes con filtros de detección de bordes: Canny, Sobel, Prewitt y Roberts respectivamente



Figura 6: Imágenes Suavizadas usando Kernel 3x3, 5x5, Gaussiano 3x3 y Gaussiano 5x5 respectivamente

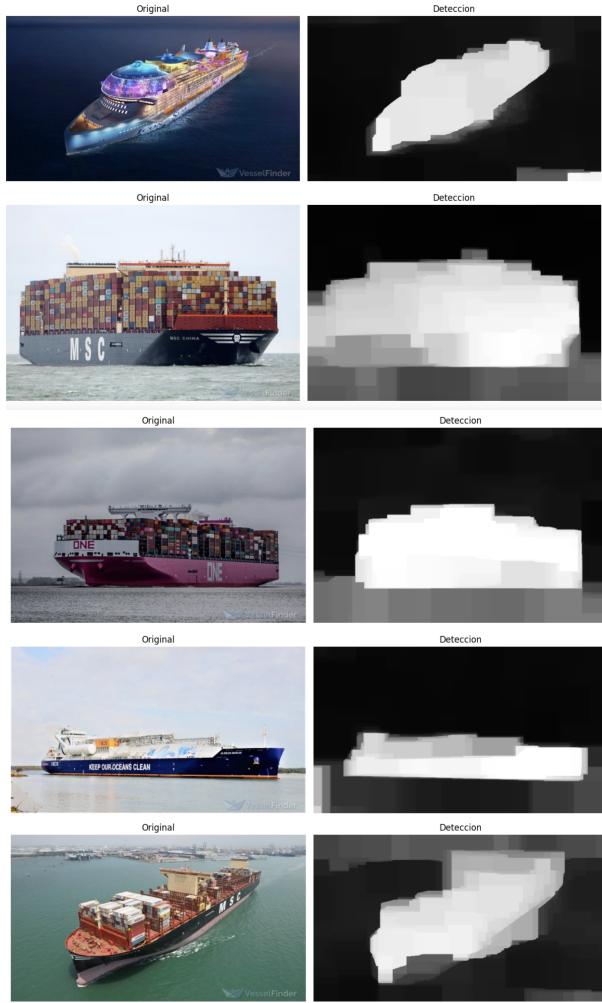


Figura 7: Imágenes con operadores morfológicos para detección de objetos

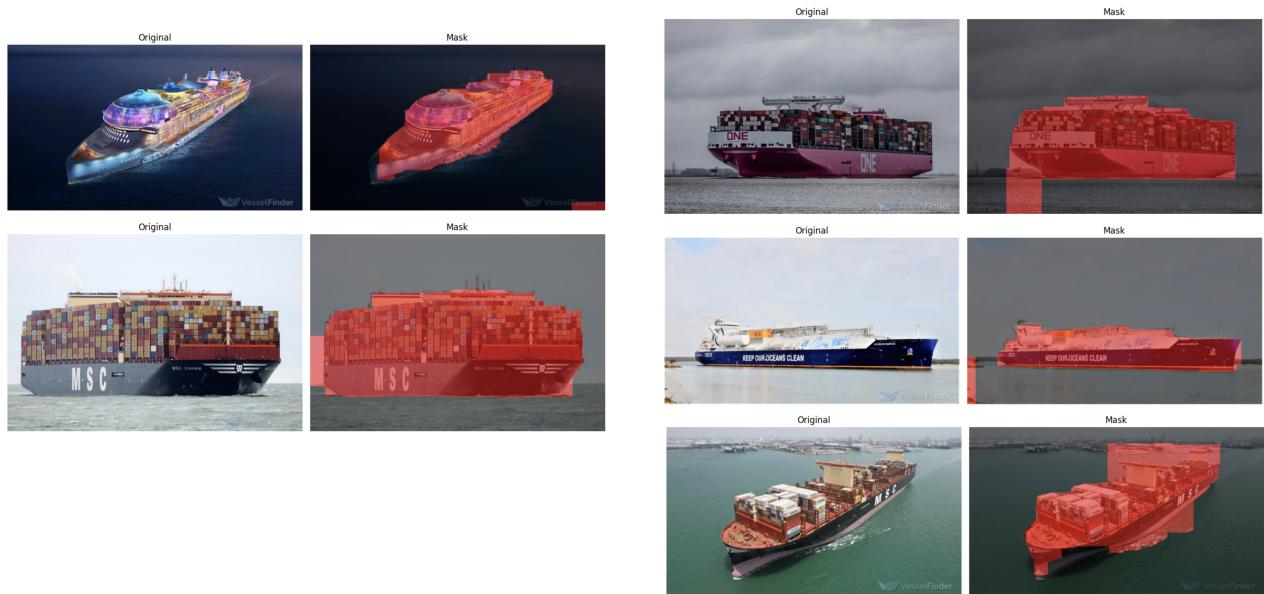


Figura 8: Imágenes originales con superposición de máscara