

Efecto de los filtros morfológicos en los procesos de detección de objetos en movimiento

Effect of morphological filters on the moving object detection process

^aSergio Alexander Castro-Casadiego,^bKarla Yohana Sánchez-Mojica,^cKarla Cecilia Puerto-López,
^dCarlos Vicente Niño-Rondón ^eByron Medina-Delgado, ^fDinael Guevara-Ibarra


 ^a Maestría en Ingeniería Electrónica, sergio.castroc@ufps.edu.co, Universidad Francisco de Paula Santander, Colombia.

 ^b Maestría en Ingeniería Industrial, investigaciones@fesc.edu.co, Fundación de Estudios Superiores Comfanorte, Cúcuta, Colombia.

 ^c Maestría en Ingeniería en Telecomunicaciones, karlaceciliapl@ufps.edu.co, Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta, Colombia.

 ^d Ingeniería Electrónica, carlosvicentenr@ufps.edu.co, Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta, Colombia.

 ^e Doctorado en Ciencias, byronmedina@ufps.edu.co, Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta, Colombia.

 ^f Doctorado en Ingeniería, dinaelgi@ufps.edu.co, Universidad Francisco de Paula Santander, Colombia.

Recibido: Julio 18 de 2020 **Aceptado:** Noviembre 10 de 2020

Forma de citar: S.A. Castro-Casadiego, K.Y. Sanchez-Mojica, K.C. Puerto-López, C.V. Niño-Rondón, B. Medina-Delgado, D. Guevara-Ibarra, "Efecto de los filtros morfológicos en los procesos de detección de objetos en movimiento", *Mundo Fesc*, vol. 11, no. 21, pp. 7-95, 2021

Resumen

En los procesos de sustracción de fondo aplicado a la detección de objetos en movimiento, una de las etapas de mayor relevancia es la del filtrado por morfología, en donde se simplifica la imagen y se conservan la mayor parte de las características de forma de los objetos. Por ello, se realiza una comparativa entre las operaciones de dilatación, erosión, apertura, cierre y gradiente en imágenes de video con fondo estático, donde circulan personas en ambientes no controlados, con el objetivo de determinar su comportamiento en la detección y conteo de personas. El procesamiento de imagen se realiza en lenguaje Python y se utiliza el paquete especializado para visión por computadora OpenCV. Además, mediante Tkinter se desarrolló una interfaz gráfica de usuario con la que se ingresan los valores del tamaño y la forma del elemento estructural para el procesamiento. Al aplicar el filtrado morfológico por dilatación se obtuvo un acierto en las detecciones de 82.28 %, con la erosión el acierto fue de 81.86 %, mientras que, con las operaciones de apertura, cierre y gradiente el acierto fue de 83.69 %, 93.07 % y 87.69 % respectivamente.

Palabras clave: Sustracción de fondo, filtros morfológicos, detección de objetos, procesamiento de imagen.

Autor para correspondencia:

*Correo electrónico: karlaceciliapl@ufps.edu.co



Abstract

In the processes of background subtraction applied to the detection of moving objects, one of the most relevant stages is the filtering by morphology, where the image is simplified and most of the shape characteristics of the objects are preserved. Therefore, a comparison is made between the operations of dilation, erosion, opening, closing and gradient in video images with static background, where people circulate in uncontrolled environments, to determine their behavior in the detection and counting of people. Image processing is performed in Python language and the specialized computer vision package OpenCV is used. In addition, a graphical user interface was developed using Tkinter to enter the values of the size and shape of the structural element for processing. When applying the morphological filtering by dilatation, a success in the detections of 82.28 %, with erosion the accuracy was 81.86 %, while, with the opening, closing and gradient operations the accuracy was 83.69 %, 93.07 % and 87.69 % respectively.

Keywords: background subtraction, morphological filters, object detection, image processing.

Introducción

El objetivo de la visión por computadora acompañado del procesamiento de imagen es emular el comportamiento humano en la toma de decisiones posterior a los procesos de adquisición, análisis y comprensión de las imágenes del mundo real [1] [2] [3]. Entre las técnicas de detección de objetos destaca la técnica de sustracción de fondo [4], en donde mediante alteraciones a la imagen por conversión a escala de gris, segmentación, filtrados de suavizado y filtrados por morfología, acompañados de etapas de umbralización y búsqueda de contornos, se logra la separación del objeto del fondo de la imagen, y por ende, la detección de los objetos estáticos o en movimiento [5][6]. Actualmente, las técnicas de aprendizaje computacional y de procesamiento de imagen tienden al análisis del movimiento de los humanos en ambientes no controlados, ambientes en donde no se pueden ejercer acciones de mando en aspectos como la dirección del movimiento de las personas, y en características del medio como el nivel de luz presente al momento de la captura de la imagen que arrojan datos probabilísticos de operación [7][8].

Los filtros morfológicos se basan en operaciones de conjuntos, que ejecutan alteraciones simples a las imágenes en forma [9] [10]. Las dos operaciones morfológicas

más comunes son la dilatación y erosión, y de sus combinaciones surgen las operaciones de apertura, cierre y gradiente morfológico [11]. Generalmente, los filtrados morfológicos se aplican conjunto a los filtrados de suavizado, con lo que se rellenan espacios de la imagen y se elimina el ruido de la misma, manteniendo la seguridad y privacidad de la información[12][13].

En este documento se realiza una comparativa entre las operaciones morfológicas de dilatación, erosión, apertura, cierre y gradiente, aplicadas a un proceso de detección de personas en ambientes no controlados de la ciudad de Cúcuta, Colombia. El tratamiento de las imágenes se realiza en lenguaje de programación Python, que por su condición de multiplataforma permite la adquisición de la imagen mediante una placa embebida Raspberry Pi Model 3B+ conectada a una cámara de video de 5 Mpx de la familia Raspberry, y el procesamiento se realiza en una computadora personal, donde a su vez, se crea una interfaz gráfica de usuario para el ingreso de los valores correspondientes al tamaño y forma del elemento estructural, y visualización del proceso de filtrado y detección.

Materiales y métodos

La metodología propuesta para el análisis de los efectos de los filtros morfológicos en la

detección de objetos en movimiento (detección de personas), se muestra en la figura 1.

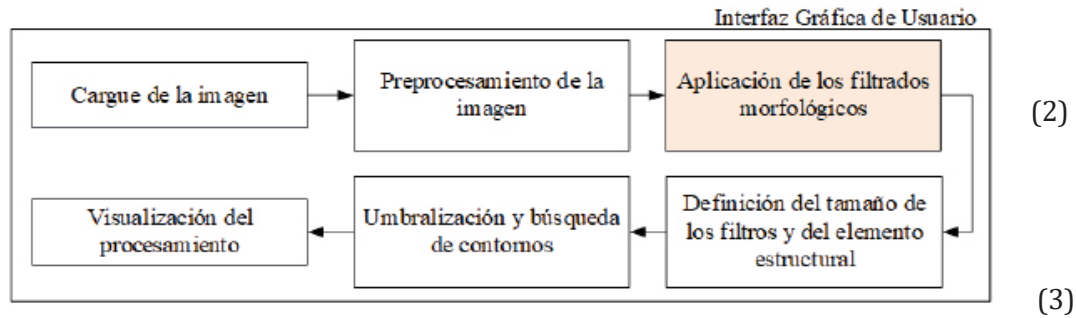


Figura. 1. Metodología propuesta.

Las etapas de la metodología se encuentran integradas en una interfaz gráfica de usuario, en donde en primer lugar se realiza el cargue de la imagen, y seguido se aplican variaciones para el preprocesamiento de la imagen como conversión a escala de gris, filtrado de suavizado gaussiano y segmentación del fondo de la imagen. Posteriormente, se aplican los filtros morfológicos de dilatación, erosión, apertura, cierre y gradiente, definiendo el tamaño del elemento estructural. Además, se aplica un proceso de umbralización y búsqueda de contornos para finalmente arrojar la visualización de la imagen procesada.

Preprocesamiento de la imagen

En esta etapa, se aplican procesos de conversión a escala de grises, filtrados de desenfoque gaussiano y segmentación del fondo de la imagen. Para la conversión a escala de gris se estiman valores entre 0 y 255 píxeles a la imagen [14], y las tonalidades roja, verde y azul se transforman a gris según la ecuación 1.

$$y = (R * 0.3) + (G * 0.59) + (B * 0.11) \quad (1)$$

separabilidad, ya que permite el uso de dos máscaras unidimensional; una vertical y una horizontal. En la ecuación 2 se representa la función gaussiana, mientras que en la ecuación 3 se presenta la máscara de dimensiones 5x5 que representa el modelo de la función gaussiana.

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

$$\frac{1}{213} x$$

1	4	7	4	1
4	16	26	16	4
7	26	41	26	7
4	16	26	16	4
1	4	7	4	1

De igual forma, para la segmentación del fondo de la imagen se utiliza *BackgroundSubtractor* MOG2, una implementación disponible en OpenCV y que se encuentra basado en mezclas gaussianas. Su funcionamiento consiste en el análisis de los píxeles del fondo y se le asigna una distribución gaussiana a los mismos [16]. En términos generales, esta función realiza una aproximación del fondo según el tiempo de permanencia del color, de modo que se categorice como fondo de la imagen los sectores en lo que en un lapso se genere la menor variación de color.

Aplicación de los filtros morfológicos

Siguiendo la metodología propuesta y partiendo de las imágenes obtenidas en el preprocesamiento, se aplican los filtros basados en operaciones morfológicas. Los procesos de dilatación, erosión, apertura y cierre se encuentran basados en teoría de conjuntos, y permite que las formas subyacentes de la imagen se identifiquen y se puedan reconstruir desde su distorsión y

ruido [17].

La dilatación morfológica genera el efecto de expansión o ampliación en las regiones de la imagen [18]. Al tratarse de imágenes binarizadas, es decir, subconjuntos de Z^2 , se puede definir como la reflexión de un elemento estructural B con su traslación por Z . En adición, la operación de erosión genera un efecto de adelgazamiento en el área de la imagen y se considera como el efecto contrario a la dilatación [19]. Es decir, la erosión es conjunto de los puntos Z que el B ser trasladado en Z , se encuentren contenidos en A . En adición, los filtrados de apertura y cierre son utilizados con frecuencia para la eliminación de ruido y simplificación de formas. El filtro de apertura resulta de una erosión seguido de una dilatación [20], mientras que el filtro de cierre se genera al aplicar una dilatación y posteriormente erosionar la imagen [21]. Adicionalmente, el gradiente morfológico corresponde a una diferencia entre las operaciones de dilatación y erosión, con lo que con frecuencia se utiliza para la distinción del borde del objeto [22]. La representación de las operaciones morfológicas de dilatación, erosión, apertura, cierre y gradiente se muestra en las ecuaciones 4,5,6,7 y 8 respectivamente.

$$A \oplus B = \bigcup_{b \in B} A_b \quad \text{ó} \quad B \oplus a = \bigcup_{a \in A} B_a \quad (4)$$

$$A \ominus B = \bigcap_{b \in B} A_{-b} \quad (5)$$

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B \quad (6)$$

$$A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B \quad (7)$$

$$G = (A \oplus B) - (A \ominus B) \quad (8)$$

Definición del tamaño de los filtros y del elemento estructural

El resultado de los filtrados basados en operaciones morfológicas es dependiente en gran proporción de la configuración de tamaño y forma utilizado en el elemento estructural. En este caso, se aplica un elemento estructural de tamaño 3×3 , y de forma elíptica, como se muestra en la ecuación 9.

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (9)$$

Umbralización y búsqueda de contornos

La umbralización es una etapa de relevancia en los procesos de sustracción de fondo y procesamiento de imagen, ya que, mediante un valor de umbral definido se logra la separación del objeto de interés de los demás presentes en el cuadro principal de la imagen [23]. En los procesos de detección de personas, se establece un valor de umbral $T=50$ para la distinción de personas en los cuadros de la imagen [24], de la forma en como se muestra en la ecuación 10.

$$\begin{aligned} f(x,y) > T; & \text{persona presente en el cuadro} \\ & \text{principal de la imagen} \\ f(x,y) < T; & \text{no persona} \end{aligned} \quad (10)$$

Asimismo, el paquete de OpenCV presente diversos modos para la detección de contornos, donde destacan la búsqueda de los contornos externos, contornos internos, y generación de contornos aleatorios estableciendo o no una jerarquía de tamaños. En este caso, se utiliza el método `cv2.RETR_EXTERNAL` que entrega los contornos externos extremos. En complemento, se utiliza el método de aproximación simple `cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE` que considera los segmentos horizontales, verticales y diagonales del contorno.

Interfaz gráfica de usuario

Las etapas del preprocesamiento, aplicación de filtros morfológicos, definición del tamaño del filtro y forma del elemento estructural y umbralización y búsqueda de contornos se vinculan en una interfaz gráfica de usuario. La interfaz cuenta con un botón para realizar el cargue de la imagen desde el almacenamiento de la computadora. Asimismo, cuenta con cinco botones para activar el proceso de detección de personas mediante las operaciones morfológicas de dilatación, erosión, apertura, cierre y gradiente. Además, cuenta con dos secciones para ingresar tanto el tamaño de la matriz del elemento estructural, como la forma de este. En adición, cuenta con un botón de ayuda donde se aloja la información correspondiente al manejo de la interfaz, y un botón para cerrar la misma. Igualmente, la interfaz permite la visualización en paralelo de los procesos de detección según el tipo de filtro morfológico utilizado. La interfaz se desarrolla en Python mediante el paquete de Tkinter [25].

Resultados y discusión

Siguiendo la metodología propuesta, en la figura 2 se muestra al procesamiento inicial a las imágenes. En la columna (a) se muestran las imágenes originales. En la columna (b) se muestran las imágenes convertidas en escala de grises. Asimismo, en la columna (c) se presenta la aplicación del filtrado con desenfoque gaussiano a la imagen en proceso, mientras que en la columna (d) se muestra la imagen con la segmentación del fondo.

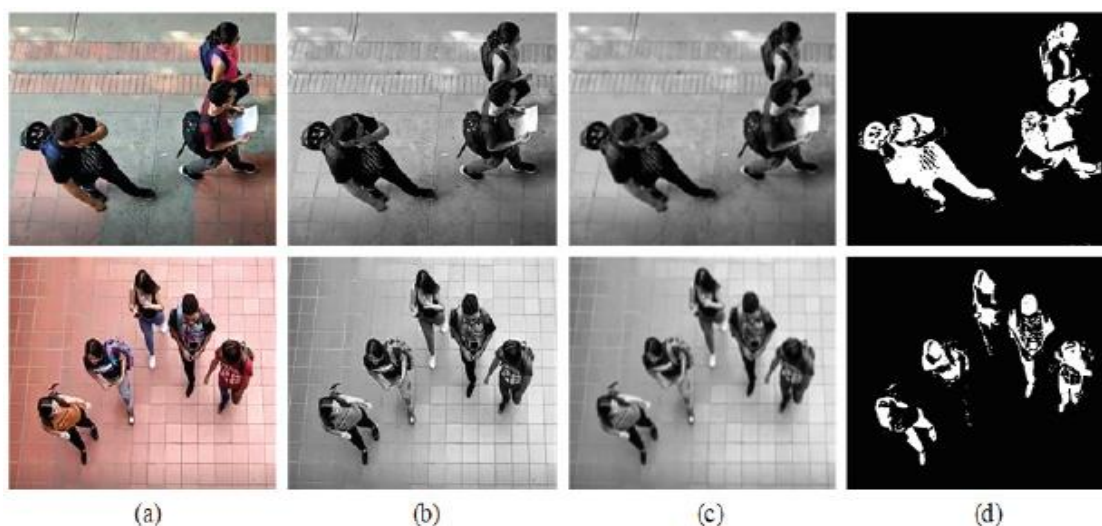


Figura. 2. Modificaciones iniciales a las imágenes. (a) original. (b) grises. (c) desenfoque. (d) segmentada.

De igual forma, en la figura 3 se presenta la interfaz gráfica de usuario creada para la interacción y la visualización de los procesados de la imagen. En el recuadro 1 se señala el botón de los cargue de la imagen desde el almacenamiento del dispositivo. En el recuadro 2 se muestran los botones utilizados para seleccionar el tipo de filtro

morfológico durante el procesamiento. En el recuadro 3 se presentan los espacios para el ingreso del tamaño del elemento estructural y la forma de este. De igual forma, en el recuadro 4 se muestran los botones de ayuda y salida de la interfaz. Es relevante aclarar que en la imagen final entregada por la interfaz gráfica de usuario ya se encuentra

inmersa la etapa de umbralización y búsqueda de contorno, completando así la metodología propuesta.

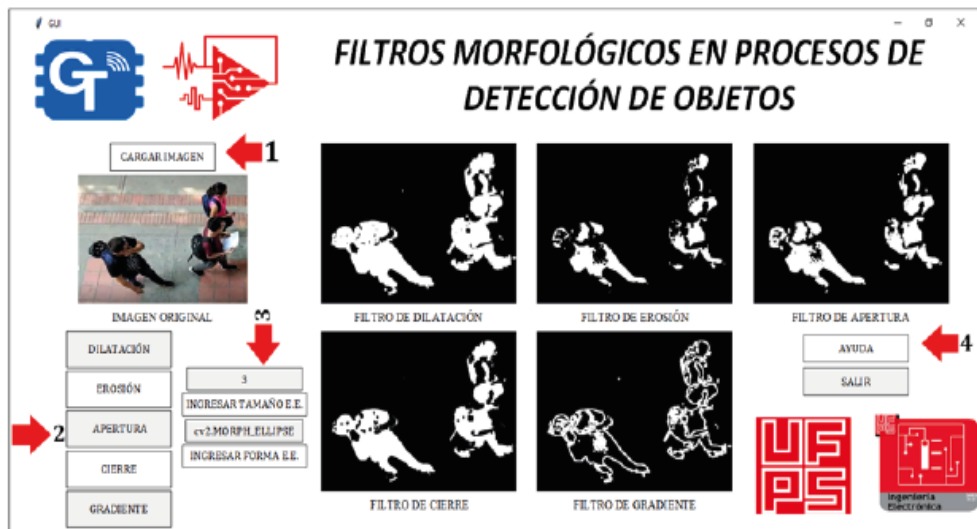


Figura. 3. Interfaz gráfica de usuario.

Asimismo, en la tabla 1 se presenta el análisis realizado a las detecciones teniendo en cuenta el número de falsos positivos (referente a los objetos en movimiento que no eran personas y se detectaron como si lo fueran), y los falsos negativos (referente a los objetos en movimiento que si eran personas y no se identificaron como tal). De un total de 52 personas que se encontraban por el cuadro principal de la imagen, al aplicar la operación morfológica de dilatación se presentaron 6 falsos positivos y 7 negativos, mientras que, con el proceso morfológico de erosión, dichos valores fueron 5 y 8 respectivamente. De igual forma, al aplicar la operación morfológica de apertura se presentaron 6 falsos negativos y 6 falsos negativos, mientras que, con la operación morfológica de cierre, dichos valores disminuyeron a 3 y 2 respectivamente. Por su parte, al aplicar el filtrado morfológico de gradiente se presentaron 4 falsos positivos y 6 falsos negativos.

Tabla 1. Análisis de las detecciones según la operación morfológica aplicada

Filtro morfológico	Total de personas	Falsos positivos	Falsos negativos	Error %
Dilatación	52	6	7	17.72 %
Erosión		5	8	18.14 %
Apertura		6	6	16.31 %
Cierre		3	2	6.93 %
Gradiente		4	5	12.31 %

Conclusiones

Los procesos de detección de objetos mediante la técnica de sustracción de fondo representan una alternativa a los métodos de detección por aprendizaje. Con la comparativa realizada entre las diversas operaciones morfológicas se muestra la importancia de cada una de las etapas en un procesamiento de imagen, ya que, si bien se manejaron estrategias convencionales en la conversión de gris, filtrado de suavizado y segmentación, así como en la umbralización y búsqueda de contornos, al hacer énfasis en la etapa de filtrado morfológico se demuestra que con modificaciones en una etapa del procesamiento, se obtiene un rango de error variante entre el 6.93 % y el 18.14 %. Los procesos de detección con los procesos de morfología por cierre y gradiente presentan un mejor rendimiento que los desarrollados por dilatación, erosión, y apertura, ya que, para los dos primeros procesos se obtienen tasas de aciertos de 93.07 % y 87.69 %, mientras que, para las operaciones restantes, la tasa de aciertos disminuyó hasta 82.28 %, 81.86 % y 83.69 %. Respectivamente. Así mismo, la implementación de la interfaz gráfica de usuario facilitó el análisis de las detecciones con cada filtrado de operación morfológica, ya que la inspección se realizó paralelamente para cada uno de los casos expuestos.

Referencias

- [1] B. N. Krishna Sai and T. Sasikala, "Object Detection and Count of Objects in Image using Tensor Flow Object Detection API," in *Proceedings of the 2nd International Conference on Smart Systems and Inventive Technology, ICSSIT 2019*, 2019, no. Icssit, pp. 542–546, doi: 10.1109/ICSSIT46314.2019.8987942
- [2] K. Mistry and A. Saluja, "An Introduction to OpenCV using Python with Ubuntu," *Int. J. Sci. Res. Comput. Sci. Eng. Inf. Technol.*, vol. 1, no. 2, pp. 65–68, 2016
- [3] C. Vicente Nino Rondon, S.A. Castro Casadiego, B.M. Delgado, D.G. Ibarra, and M.E. Posada Haddad, "Real-Time Detection and Clasification System of Biosecurity Elements Using Haar Cascade Classifier with Open Source," in *2020 IX International Congress of Mechatronics Engineering and Automation (CIIMA)*, Nov. 2020, pp. 1–6, doi: 10.1109/CIIMA50553.2020.9290295
- [4] E.N. Kajabad and S.V. Ivanov, "People Detection and Finding Attractive Areas by the use of Movement Detection Analysis and Deep Learning Approach," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 156, pp. 327–337, 2019, doi: 10.1016/j.procs.2019.08.209
- [5] C.V. Niño Rondón, S.A. Castro Casadiego, B. Medina Delgado, D. Guevara Ibarra, and L.L. Camargo Ariza, "Comparativa entre la técnica de umbralización binaria y el método de Otsu para la detección de personas," *Rev. UIS Ing.*, vol. 20, no. 2, pp. 65–73, 2021, doi: 10.18273/revuin.v20n2-2021006
- [6] J. Andrés, G. Pinzon, and L.E. Mendoza, "Adquisición Y Procesamiento De Señales Emg Para Controlar Movimiento De Un Brazo Hidraulico," *Mundo FESC*, vol. 1, no. 7, pp. 49–60, 2014
- [7] D. Vera Mujica, N. Contreras Reyes, and J. Araujo Vargas, "Implementación de un brazo robótico con tratamiento digital de imágenes," *Mundo FESC*, vol. 2, no. 12, pp. 20–25, 2016
- [8] F. Pineda Torres, "Técnicas de slam con filtros probabilísticos ; caracterización y resultados en robots móviles," *Mundo FESC*, vol. 9, no. 18, pp. 7–15, 2019, [Online]. Available: <https://www.fesc.edu>

co/Revistas/OJS/index.php/mundofesc/article/view/408

- [9] R.F. Pinto, C.D.B. Borges, A.M.A. Almeida, and I.C. Paula, "Static Hand Gesture Recognition Based on Convolutional Neural Networks," *J. Electr. Comput. Eng.*, vol. 2019, pp. 1–12, 2019, doi: 10.1155/2019/4167890
- [10] X. Zhang and F. Chen, "Lane Line Edge Detection Based on Improved Adaptive Canny Algorithm," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1549, no. 2, 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1549/2/022131
- [11] P. Huamaní Navarrete, "Umbralización múltiple utilizando el método de Otsu para reconocer la luz roja en semáforos," *Scientia*, vol. 17, no. 17, pp. 247–262, 2016, doi: 10.31381/scientia.v17i17.393
- [12] E.S. Gedraite and M. Hadad, "Investigation on the effect of a Gaussian Blur in image filtering and segmentation," *Proc. Elmar - Int. Symp. Electron. Mar.*, no. August, pp. 393–396, 2011
- [13] E. Roperro-silva, K. Sanchez-mojica, and S. Castro-casadiago, "Vulnerabilidad en la seguridad del internet de las cosas Vulnerability in the security of the internet of things," vol. 10, no. 19, pp. 162–179, 2020
- [14] G. Sánchez-Torres and J.A. Taborda-Giraldo, "Estimación automática de la medida de ocupación de playas mediante procesamiento de imágenes digitales," *Tecnológicas*, vol. 17, no. 33, p. 21, 2014, doi: 10.22430/22565337.543
- [15] N. Sharmin and R. Brad, "Optimal filter estimation for Lucas-Kanade optical flow," *Sensors (Switzerland)*, vol. 12, no. 9, pp. 12694–12709, 2012, doi: 10.3390/s120912694
- [16] A. Sarmiento, I. Fondón, M. Velasco, A. Qaisar, and P. Aguilera, "Modelo de Mezcla de Gaussianas Generalizadas para Segmentación de Melanomas," *Congr. Anu. la Soc. Española Ing. Biomédica*, no. November, 2014
- [17] P. Suárez and M. Villavicencio, "Detección de Contornos utilizando el Algoritmo Canny en Imágenes Cross-Espectrales Fusionadas," *Enfoque UTE*, vol. 8, no. 1, p. 16, 2017, doi: 10.29019/enfoqueute.v8n1.127
- [18] S.Y. Ma, A. Khalil, H. Hajjdiab, and H. Eleuch, "Quantum dilation and erosion," *Appl. Sci.*, vol. 10, no. 11, pp. 1–13, 2020, doi: 10.3390/app10114040
- [19] A. Mehdizadeh, M.M. Disfani, R. Evans, A. Arulrajah, and D.E.L. Ong, "Application of image processing in internal erosion investigation," *ICSMGE 2017 - 19th Int. Conf. Soil Mech. Geotech. Eng.*, vol. 2017-Septe, no. September, pp. 2925–2928, 2017
- [20] C. Shan, B. Huang, and M. Li, "Binary Morphological Filtering of Dominant Scattering Area Residues for SAR Target Recognition," *Comput. Intell. Neurosci.*, vol. 2018, 2018, doi: 10.1155/2018/9680465
- [21] X. Wang, Q. Zhao, and J. Tan, "Improved Morphological Band-Pass Filtering Algorithm and Its Application in Circle Detection," *Math. Probl. Eng.*, vol. 2018, 2018, doi: 10.1155/2018/3765164
- [22] J.A.M. Saif, M.H. Hammad, and I.A.A. Alqubati, "Gradient Based Image Edge Detection," *Int. J. Eng. Technol.*, vol. 8, no. 3, pp. 153–156, 2016, doi: 10.7763/ijet.2016.v6.876

- [23]L. Dang, G. Tewolde, X. Zhang, and J. Kwon, "Reduced resolution lane detection algorithm," *2017 IEEE AFRICON Sci. Technol. Innov. Africa, AFRICON 2017*, pp. 1459–1464, 2017, doi: 10.1109/AFRCON.2017.8095697
- [24]L. Neumann and A. Vedaldi, "Tiny People Pose," *Lect. Notes Comput. Sci. (including Subser. Lect. Notes Artif. Intell. Lect. Notes Bioinformatics)*, vol. 11363 LNCS, pp. 558–574, 2019, doi: 10.1007/978-3-030-20893-6_35
- [25]J.D. Arias Hernández, A.F. Jiménez López, and H.O. Porras Castro, "Desarrollo de aplicaciones en python para el aprendizaje de física computacional," *Ing. Investig. y Desarro.*, vol. 16, no. 1, p. 72, 2016, doi: 10.19053/1900771x.5122