

Procesamiento a imágenes de video para verificación de distanciamiento social durante la pandemia de la COVID-19

Video image processing to verify social distancing during the COVID-19 pandemic

Processamento de imagens de vídeo para verificação do distanciamento social durante a pandemia COVID-19a

Carlos Vicente Niño Rondón^{a*} | Sergio Alexander Castro Casadiego^b | Byron Medina Delgado^c | Dinael Guevara Ibarra^d | Jorge Gómez Rojas^e

^a <https://orcid.org/0000-0002-3781-4564> Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta, Colombia

^b <https://orcid.org/0000-0003-0962-9916> Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta, Colombia

^c <https://orcid.org/0000-0003-0754-8629> Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta, Colombia

^d <https://orcid.org/0000-0003-3007-8354> Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta, Colombia

^e <https://orcid.org/0000-0002-0840-8743> Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia

- **Fecha de recepción:** 2020-07-16
- **Fecha concepto de evaluación:** 2020-09-22
- **Fecha de aprobación:** 2020-09-27
<https://doi.org/10.22335/rlct.v13i1.1305>

Para citar este artículo / To reference this article / Para citar este artigo: Niño Rondón, C.V., Castro Casadiego, S.A., Medina Delgado, B., Guevara Ibarra, D., & Gómez Rojas, J. (2021). *Revista Logos Ciencia & Tecnología*, 13(1), 116-127. <https://doi.org/10.22335/rlct.v13i1.1305>

RESUMEN

El aumento exponencial del número de contagios por COVID-19 alrededor del mundo ha originado que los gobiernos, en acompañamiento de comunidades médicas y científicas, recomienden el distanciamiento social de al menos dos metros entre personas, para evitar el crecimiento en el número de contagios. Con el propósito de determinar el cumplimiento de la medida de distanciamiento social, se realiza una prueba piloto mediante el procesamiento a imágenes de video para la detección de personas en espacios abiertos de la zona céntrica de la ciudad de Cúcuta, Colombia. El método propuesto consiste en el análisis de información de videos de personas con fondo estático, tomados desde una altura de 4.5 metros, además de ubicación de centroides por el método de momentos y estimación de distancia por el método euclidiano, esto, mediante lenguaje de programación Python. Como resultado se obtiene un acierto en la detección de personas del 92.43% y que el 84.21% de quienes circularon por el cuadro de video y transitan en la zona céntrica de la ciudad de Cúcuta, Colombia, incumplen con el distanciamiento social de dos metros recomendado por la comunidad científica y expuesta en la circular municipal 023 de 2020.

Palabras clave: COVID-19, distanciamiento social, detección de personas, ubicación de centroides, distancia euclidiana

ABSTRACT

The exponential increase in the number of COVID-19 infections around the world has prompted governments, in conjunction with medical and scientific communities, to recommend a social distance of at least two meters between people, to avoid increasing the number of infections. With the purpose of determining compliance with the measure of social distancing, a pilot test is carried out through video image processing for the people detection in open spaces in the central area of the city of Cúcuta, Colombia. The proposed method consists of the analysis of information from videos of people with static background, taken from a height of 4.5 meters, in addition to location of centroids by the method of moments and distance estimation by the euclidean method, this, by means of Python programming language. As a result, it is obtained a success in the people detection of 92.43 % and that 84.21 % of those who circulated through the video frame and transit in the central zone of the city of Cúcuta, Colombia, do not comply with the social distance of two meters recommended by the scientific community and exposed in the municipal circular 023 of 2020.

Keywords: COVID-19, social distancing, people detection, centroid location, euclidean distance

RESUMO

O aumento exponencial do número de contágios por COVID-19 ao redor do mundo tem originado que os governos, em acompanhamento de comunidades médicas e científicas, recomendem o distanciamento social de pelo menos dois metros entre pessoas, para evitar o crescimento no número de contágios. Com o propósito de determinar o cumprimento da medida de distanciamento social, se realiza uma prova piloto através do processamento de imagens de vídeo para a detecção de pessoas em espaços abertos da zona central da cidade de Cúcuta, Colômbia. O método proposto consiste na análise de informação de vídeos de pessoas com fundo estático, tomados desde uma altura de 4.5 metros, além da localização de centróides pelo método de momentos e estimação de distância pelo método euclidiano, isto, mediante linguagem de programação Python. Como resultado, se obtém um acerto na detecção de pessoas de 92.43 % e que o 84.21 % daqueles que circularam pelo quadro de vídeo e transitam na zona central da cidade de Cúcuta, Colômbia, não respeitam o distanciamento social de dois metros recomendado pela comunidade científica e exposta na circular municipal 023 de 2020.

Palavras-chave: : COVID-19, distanciamento social, detecção de pessoas, localização de centróides, distância euclidiana

La COVID-19 es una enfermedad infecciosa, potencialmente letal y altamente transmisible, causada por el coronavirus 2 del síndrome respiratorio agudo severo (SARS-CoV-2), con origen en Wuhan-China (Shereen, et al., 2020). Por su rápida propagación, los Estados se han visto obligados a la activación de protocolos que permitan disminuir el crecimiento exponencial en el número de contagios (Palacios et al., 2020). Colombia no ha sido la excepción, ya que, mediante decretos presidenciales y normativa local, se estipularon medidas como el aislamiento y el distanciamiento social. Dichas disposiciones, según las recomendaciones dadas por la Organización Mundial de la Salud (OMS), así como por comunidades médicas y científicas, definen una distancia entre personas de al menos dos metros (Arenas et al., 2020). De la misma

manera, se estipularon normativas en cuanto a comportamientos contrarios a la convivencia durante la pandemia de la COVID-19 como aglomeraciones, incumplimiento de medidas como la Ley Seca, restricciones a la movilidad según el género y el último dígito del documento de identidad, entre otras (Ruiz-Pérez & Aparicio, 2020).

La detección de personas es una de las mayores aplicaciones en procesos de visión por computadora, en los que, de imágenes de video, se extrae y analiza información con el propósito de ejecutar seguimiento, localización, rastreo y conteo de quienes son captados (Leo, et al., 2017). La técnica de sustracción de fondo es una de las técnicas más utilizadas en procesos de detección de personas, debido a la capacidad de separación de los objetos presentes en el

cuadro principal de la imagen y el fondo de esta (Siqueira & Manso, 2016). Asimismo, un método clásico para la estimación de distancia entre objetos es el de distancia euclidiana, en el que se determina la separación entre puntos de un plano cartesiano basándose en el teorema de Pitágoras (Arévalo et al., 2014), aplicable para la verificación de distancia entre personas.

En este documento, se presenta el procesamiento de imágenes de vídeo capturadas en zonas de espacio público de la ciudad de Cúcuta, en el marco de una prueba piloto de la implementación tecnológica, entre los días 1 y 15 de junio del año 2020, en el lapso comprendido entre las 10:00 a.m. y las 10:30 a.m. Allí, mediante la técnica de sustracción de fondo, se detecta a las personas presentes en el cuadro de vídeo, y, por estimación de distancia entre centroides de las detecciones, se determina si están incumpliendo o no la medida de distanciamiento (dos metros entre personas). El procesamiento se realiza en lenguaje de programación Python. El dispositivo de captura de vídeo presenta una distancia focal de 35 nanómetros, factor de multiplicación de 7.37, frecuencia de grabación de vídeo de 30 fotogramas por segundo y una ubicación a una altura de 4.5 metros. De igual forma, los vídeos utilizados corresponden a escenas con fondo de imagen estático.

Estado del arte

Para abordar el estudio, se presentan investigaciones con respecto al distanciamiento entre personas para evitar los contagios por la COVID-19, técnicas para la detección de personas, además de estimación y localización de objetos en el cuadro principal de la imagen y distancia entre ellos.

En marzo de 2020, Arranz y Molero publican un estudio sobre los tipos de coronavirus en el que se inspeccionan los brotes de consideración, y se analizan los mecanismos de transmisión entre humanos. El estudio también muestra que una de las maneras de transmisión común son las gotas respiratorias de más de 5 micras, capaces de transmitirse a distancias de hasta dos metros, expulsadas por el infectado mediante secreciones respiratorias al hablar, toser y estornudar (Arranz & Molero, 2020).

En esa misma línea, el Centro de Coordinación de Alertas y Emergencias Sanitarias añade en su estudio las posibilidades de contagio por secreciones nasofaríngea y de saliva, además de manos o fómites contaminados, por lo

que recomiendan un distanciamiento entre personas de al menos dos metros (Ministerio de Sanidad, 2020).

En cuanto a técnicas de detección de humanos, Seemanthini y Manjunath desarrollaron un sistema en el contexto de la videovigilancia, basado en un enfoque de segmentación por clústeres, que extrae características por medio de histogramas de gradientes orientados y los clasifica por el algoritmo de máquinas de vectores de soporte, con este se obtuvieron aciertos en las detecciones de hasta 89.59 % (Seemanthini & Manjunath, 2018). Asimismo, Zhang y Xin implementaron un sistema para la detección humana basado en las características de similitud de color entre los píxeles de la imagen, con un clasificador bayesiano semisimple y la adición de un histograma de característica binaria local, que genera mayor velocidad de entrenamiento por el clasificador de bosque aleatorio (Zhang & Xin, 2016). Por otra parte, Kim et al. (2018), desarrollaron un sistema basado en un algoritmo de sustracción de fondo con el propósito de extraer las regiones de interés en la imagen, con posterior clasificación entre clases establecidas mediante redes neuronales convolucionales que reduce la complejidad de la computación y presenta aciertos fluctuantes entre 82 % y 85 % (Kim et al., 2018). En esa misma línea, Paul et al. (2013), realizaron una comparativa entre las técnicas de detección de movimiento como sustracción de fondo, flujo óptico y filtrado de espacio temporal, y clasifican las detecciones según características de forma y textura. Obtienen mayor velocidad de adaptación del modelo mediante sustracción ante variabilidad en el fondo, y mejor adaptabilidad a posibles oclusiones en las demás técnicas analizadas (Paul et al., 2013). A la par, Jeon et al. (2015) propusieron un sistema de detección basado en sustracción de fondo con un arreglo de cámaras térmicas con luz infrarroja lejana que aplica, además, procesos de filtrado por grises y eliminación de regiones del fondo de la imagen. Las regiones que presenten objetos candidatos a personas se localizan mediante diferencia de bordes y los valores de umbral se obtienen de manera adaptativa según el brillo de la imagen (Jeon et al., 2015). En cuanto a la estimación de distancia, Fosalau et al. (2018), proponen un método aplicable a imágenes de vídeo obtenidas mediante cámaras de bajo costo. Estas relacionan la variación entre cuadros sucesivos de la longitud media en píxeles. En contraste, para la estimación de distancia, el método requiere del valor de velocidad del objeto en movimiento (Fosalau et al., 2018). También, Magaña et al., (2017), presentan un algoritmo capaz de

estimar la distancia entre objetos utilizando solo una cámara en entornos controlados y basándose en fundamentos matemáticos de Distancia Euclidiana (Magaña et al. 2017). Con ello, logran estimaciones en distancia del 96.1 %, con error promedio de 0.99 % y desviación estándar de 0.1 % de la distancia. Por otra parte, Girolami et al., (2020), implementaron un sistema para la detección de características de interacción entre personas mediante balizas y dispositivos móviles comerciales, probado con estudiantes de una escuela especializada en informática en ambientes controlados, con el que detectan información relacionada con la proximidad entre dispositivos móviles inteligentes. Esto también puede interpretarse como la distancia de separación entre los propietarios de dichos dispositivos (Girolami et al., 2020). De replicarse en ambientes no controlados como zonas de espacio público y aglomeraciones, no se garantiza fiabilidad en las detecciones y las distancias estimadas, ya que, entre otros, no se cuenta con la certeza de que quienes circulen por dicha zona cuenten con un teléfono móvil con las características requeridas para efectuar el procesamiento de la información; por lo anterior, se limitaría el número de personas de las que el sistema logre estimar su separación.

Contextualización

En esta sección, se presenta la información requerida para desarrollar la propuesta investigativa, y se muestra la contextualización sobre la dinámica y el comportamiento social, así como la normatividad legal vigente en lo que compete a la regulación del flujo poblacional en las zonas de espacio público, como, por ejemplo, las nuevas estipulaciones en cuanto al distanciamiento social entre personas.

Dinámica y comportamiento social en la ciudad de Cúcuta

San José de Cúcuta es una ciudad colombiana, fronteriza, capital del departamento de Norte de Santander, con una población aproximada junto a su área metropolitana de 979613 personas (Diario La Opinión, 2019), lo que la convierte en una de las siete urbes más grandes del país (Niño et al., 2020b). Dada su condición de ciudad fronteriza y el conflicto social interno que se vive en Venezuela, se estima que, según cifras de Migración Colombia, 1 825 000 venezolanos estarían radicados en Colombia, de los cuales, el 63% se ubicó en los departamentos de Cundinamarca, Norte de Santander, Atlántico, La Guajira y Antioquia; donde se registra la llegada de al

menos 30 000 venezolanos al mes, de los cuales 1680 se radican en la ciudad de Cúcuta. En adición a lo expuesto, Cúcuta es la cuarta ciudad de Colombia con más alto porcentaje de desempleo: 23.9% (Revista Dinero, 2020), en ese orden de ideas, el comercio informal es una de las principales fuentes de ingreso para la subsistencia de la ciudadanía. Por esto, en la ciudad de Cúcuta es común encontrarse con aglomeraciones de personas en zonas de espacio público originadas tanto por vendedores formales e informales como por compradores, que, de seguirse presentando durante la pandemia de la COVID-19, convierten a la zona céntrica de la ciudad en un foco para el contagio y expansión del virus.

Normatividad

Se presentan las principales normas vigentes en el orden nacional como local, referentes a las condiciones para circular en las zonas de espacio público, además de la medida distanciamiento entre personas durante la pandemia de la COVID-19.

a. Decreto presidencial 539 de 2020. Por el cual se adoptan medidas de bioseguridad para mitigar, evitar la propagación y realizar el adecuado manejo de la pandemia de la COVID-19, en el marco del estado de emergencia económica, social y ecológica, considerando las recomendaciones dadas por la Organización Mundial de la Salud (OMS), mediante acciones de preparación y respuesta frente al virus, donde, entre otras, se adopta la medida de distanciamiento social. Por lo cual, se decreta en el artículo 1 la expedición de los protocolos de bioseguridad requeridos en actividades económicas, sociales y de sectores de administración pública. De igual forma, en el artículo 2 se estipulan las obligaciones de las autoridades territoriales en materia de bioseguridad (Ministerio de Salud y Protección Social, 2020).

b. Decreto presidencial 749 de 2020. Por el cual se imparten instrucciones en virtud de la emergencia sanitaria generada por la pandemia de la COVID-19 y el mantenimiento del orden público. En el artículo 1 se ordena el aislamiento preventivo obligatorio en el territorio nacional desde el día 1 de junio de 2020, hasta el día 1 de julio de 2020, prorrogado hasta el día 15 de julio del mismo año; y, en el artículo 2, se faculta a los gobernadores y alcaldes para que adopten las instrucciones necesarias en aras del cumplimiento de la medida de aislamiento preventivo obligatorio. De igual manera, en el artículo 3, se presentan las excepciones del decreto. Entre ellas se destacan la adquisición y pago de bienes y servicios, las

cadena de producción, el abastecimiento, transporte, comercialización y distribución de productos farmacéuticos, alimentos y bebidas (Ministerio del Interior, 2020).

c. Decreto municipal 117 de 2020. Por medio del cual se establece transitoriamente en el municipio de Cúcuta el sistema de pico y cédula de ciudadanía, para la realización de compras en supermercados y tiendas, así como para cobros de auxilios, subsidios y similares, también para la utilización de los servicios bancarios, incluidos cajeros automáticos, y se fija para ello un horario comprendido entre las 6:00 a.m. y las 6:00 p.m., con la finalidad de prevenir y evitar el riesgo de contagio o propagación de la enfermedad por COVID-19 en el municipio (Alcaldía municipal de San José de Cúcuta, 2020).

d. Circular municipal externa 023 de 2020. Donde se exhorta a los establecimientos de comercio público y privado, que prestan u ofrecen sus productos y servicios y que, por ende, generan filas en zonas de espacio público por sus usuarios esperando atención, a cumplir los protocolos de bioseguridad, organizando filas de usuarios, preservando el orden y manteniendo el distanciamiento social de mínimo 1.5 o 2 metros entre usuarios, elaborando materiales de señalización en pisos y paredes al exterior de los establecimientos que sirvan de guía a los ciudadanos (Secretaría de Gobierno de San José de Cúcuta, 2020).

De los decretos presidenciales mencionados antes, es posible inferir las instrucciones que, en cuanto al aislamiento social y protocolos de bioseguridad, influyen directamente en la regulación del número de personas que circulan en determinadas zonas. Asimismo, de las normativas locales, se infiere que las políticas públicas establecidas en la región limitan aún más el número de personas circulantes en aras de la disminución de contagios por COVID-19, ya que, se añaden medidas como pico y cédula en determinadas horas del día, y se establece una distancia mínima entre personas al transitar por las zonas de espacio público de la ciudad.

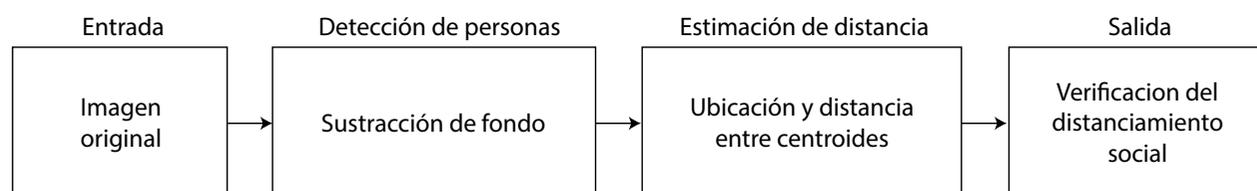
Metodología

En la figura 1, se muestra el diagrama que describe la metodología propuesta para la detección de personas y la estimación de distancia entre las mismas en la zona céntrica de la ciudad de Cúcuta.

En la etapa de entrada, se ingresan al sistema las imágenes obtenidas mediante el dispositivo de captura de video ubicado a 4.5 metros de altura. De igual manera, en la etapa de detección de personas, se aplica la técnica de sustracción de fondo con segmentación por inspección de picos y umbralización adaptativa por el método de Otsu, en la que se separa el objeto en movimiento del fondo de la imagen. En la etapa de estimación de distancia, se aplica el método de los momentos para la ubicación de centroides en las detecciones y el método euclidiano para la obtención de distancia entre ellos. Con lo anterior, se determina el porcentaje de cumplimiento a la medida de distanciamiento social de dos metros entre personas en la etapa de salida del proceso.

Para el procesamiento se utilizan 15 videos capturados entre los días 1 y 15 de junio del año 2020, como validación de la prueba piloto del sistema propuesto, en el horario de 10:00 a.m. a 10:30 a.m., en la calle 9ª, entre avenidas 6ª y 7ª de la zona centro de la ciudad de Cúcuta. A la fecha de grabación de los videos, se encuentran vigentes normativas en las que se restringe la circulación por la ciudad de Cúcuta en horas pico (Secretaría de Tránsito y Transporte de San José de Cúcuta, 2020), por ello, las imágenes de video se adquirieron en horas en las que no se presentan restricciones de ningún tipo, para emular el comportamiento real de movilidad y aglomeración en la zona centro de la ciudad de Cúcuta. Los videos se encuentran en formato MP4 y tienen una duración de 17 segundos, tiempo promedio de aparición de una misma persona en el cuadro principal de la imagen de vídeo.

Figura 1. Metodología del sistema de procesamiento propuesto



Detección de personas por sustracción de fondo

En esta sección, se presentan las etapas correspondientes a conversión a escala de grises, segmentación del fondo, filtrados de suavizado y morfológicos, umbralización adaptativa y distinción de contornos a las imágenes de vídeo capturadas en zonas de espacio público de la ciudad de Cúcuta.

a. Conversión a escala de grises

Se estiman valores entre 0 y 255 a los píxeles mediante patrones de comportamiento. En la ecuación 1, se muestra cómo las tonalidades roja (r), verde (g) y azul (b) se convierten a escala de grises, según las recomendaciones dadas por el sistema de televisión en color (Sánchez-Torres & Taborda-Giraldo, 2014).

$$Y = (r * 0.3) + (g * 0.59) + (b * 0.11) \quad (1)$$

b. Segmentación del fondo

Se utiliza el método de inspección de picos, a través de la ponderación de valores que se encuentren entre los picos del histograma (Vargas, et al., 2013). El primer pico corresponde al valor más alto de la imagen en cuestión, mientras que el segundo pico se obtiene de la forma mostrada en la ecuación 2, donde K es el nivel de gris en cuestión, f el nivel de gris del pico más alto y $h(k)$ corresponde al valor del histograma para dicho nivel.

$$\text{pico \# 2} = \max \left[(k - f)^2 * h(k) \right], \quad 0 \leq k \leq 255 \quad (2)$$

c. Filtrados de suavizado y morfología

Los filtros de suavizado son conocidos también como filtros de desenfoque gaussiano. En estos las distribuciones con desplazamientos en el eje x se obtienen como se presenta en la ecuación 3, en la que se hace necesaria una operación de truncamiento para el valor de x , que debe estar comprendido en el rango positivo y negativo de tres veces el valor de la varianza de los píxeles (Marzan & Marcos, 2018).

$$G(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \quad (3)$$

Asimismo, se realiza un filtrado por morfología mediante la operación de cierre, combinando los procesos de dilatación y erosión en una imagen "A" mediante opera-

ciones lógicas, y teniendo como referencia un elemento estructural "B" (Niño et al., 2020a), como se muestra en la ecuación 4.

$$A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B \quad (4)$$

d. Umbralización adaptativa y búsqueda de contornos

Los valores se comparan con un umbral definido: la literatura estipula un valor aproximado de 50 píxeles en procesos de detección de personas (Elhoseny, 2019; Neumann & Vedaldi, 2019), este es el valor utilizado para la comparación. En esta propuesta investigativa se utiliza el método de Otsu, que mediante el análisis de varianzas obtiene el valor del umbral que se adapte ante las variaciones en la imagen (Huamani, 2016). En la ecuación 5 se muestra el fundamento matemático de dicho proceso, en donde L , refiere a la cantidad de niveles de luz.

$$\sigma_B^2(t^*) = \max_{0 \leq t \leq L-1} \left[\text{Log}_2 \sigma_B^2(t) \right] \quad (5)$$

Una vez procesada la imagen, se buscan los contornos mediante el método de aproximación simple, que elimina redundancias y disminuye la memoria requerida durante el proceso (Triana, et al., 2016).

Estimación de distancia entre personas

Una vez separadas las personas presentes en el cuadro principal del fondo de la imagen, se buscan los centroides de cada una de las detecciones y se calcula la distancia euclidiana entre los mismos.

a. Obtención de centroides

Un centroide es el punto en el que se da la intersección de las medianas de un objeto, de modo que si una recta lo atraviesa, quede dividido en partes iguales (Suszyński & Wawryn, 2015). En la presente propuesta investigativa, se utiliza el método de los momentos de contornos, analizando tres de dichos momentos (Domínguez, 2015), presentado en la ecuación 6, donde $I(x, y)$ determina la intensidad, y al ya estar binarizada la imagen, solo puede tomar valores de 0 o 1. Además, x e y representan las coordenadas de los píxeles.

$$M_{ij} = \sum_x \sum_y x^i y^j I(x, y) \quad (6)$$

Los tres momentos son denominados M_{00} , M_{01} y M_{10} , y al hallar el momento M_{00} , la ecuación queda reducida a la

forma mostrada en la ecuación 7, obteniendo el área en pixeles de la región blanca.

$$M_{00} = \sum_x \sum_y I(x,y) \quad (7)$$

Los momentos M_{10} y M_{01} , se obtienen de la forma en que se presenta en las ecuaciones 8 y 9 respectivamente.

$$M_{10} = \sum_x \sum_y xI(x,y) \quad (8)$$

$$M_{01} = \sum_x \sum_y yI(x,y) \quad (9)$$

El centroide para la componente en x, se obtiene al dividir los momentos M_{10} y M_{00} , tal y como se presenta en la ecuación 10:

$$\frac{M_{10}}{M_{00}} = \frac{\sum_x \sum_y xI(x,y)}{\sum_x \sum_y I(x,y)} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} = \bar{x} \quad (10)$$

De igual forma, la componente en y se obtiene al dividir los momentos M_{01} y M_{00} , de la siguiente forma (ver ecuación 11):

$$\frac{M_{01}}{M_{00}} = \frac{\sum_x \sum_y yI(x,y)}{\sum_x \sum_y I(x,y)} = \frac{y_1 + y_2 + y_3 + \dots + y_n}{n} = \bar{y} \quad (11)$$

b. Distancia entre centroides

Una vez obtenidas las coordenadas de cada centroide presente en el cuadro de la imagen, se realiza la estimación de la distancia entre ellos, mediante el cálculo de la distancia euclidiana (Briñez de Leon et al., 2013), correspondiente a la separación entre un par de pixeles $P_1(x_1, y_1)$ y $P_2(x_2, y_2)$, como se muestra en la ecuación 12.

$$d = \sqrt{P_1^2 + P_2^2} = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \quad (12)$$

Es importante resaltar que el tamaño de la imagen está en función de la distancia focal, por lo que es posible encontrar variaciones en cuanto a proximidad y tamaño de la imagen (Magaña et al., 2017). Para el presente método, se utilizó una cámara de grabación de video con distancia focal de 35 mm y factor de multiplicación aproximado de 7.37.

Verificación al cumplimiento de la medida de distanciamiento social

Al determinar la distancia entre centroides, aquellas personas cuyo distanciamiento sea menor a los dos metros son clasificadas por el sistema como “no cumplen” y se muestran en pantalla dentro de un recuadro de color rojo, mientras que quienes se encuentren a distancias superiores a dicho valor son clasificados como “cumplen” y se muestran en recuadros de color verde (Arenas et al., 2020).

Resultados

Siguiendo la metodología propuesta, se presenta el procesamiento a las imágenes de video capturadas en las zonas de espacio público de la ciudad de Cúcuta. En primer lugar, se muestran las imágenes capturadas originales, seguido de la conversión a escala de grises. Asimismo, se muestra la segmentación al fondo de la imagen por el método de inspección de picos. Se presentan, también, las imágenes filtradas por suavizado con posterior morfología, y la umbralización de estas por el método adaptativo de Otsu con distinción de contornos, como se observa en la figura 2.

Al momento de la captura de los videos, por el cuadro principal de la imagen, circularon en promedio 82 personas al día, de las cuales el sistema arrojó la detección de 79 objetos candidatos a personas. Lo anterior muestra un resultado de 4 falsos positivos y 7 falsos negativos. Con esto, se obtiene un error medio en las detecciones según falsos positivos y falsos negativos de 9.83 %. En adición y mediante un luxómetro digital, se determinó el nivel de luminosidad al momento de la captura de las imágenes de video analizadas, siendo 7341.25 lx el nivel promedio obtenido.

De igual forma, en la figura 3, se presenta la estimación de los centroides en las detecciones realizadas posterior al procesamiento de los videos. En primer lugar, se muestran los recuadros obtenidos al culminar el proceso de detección, así como cada uno de los centroides. Posteriormente, se presentan cada uno de los caminos existentes entre centroides.

En la tabla 1, se presentan los rangos de distancias y el número de personas detectadas en los 15 días de implementación del sistema. El 13.16 % de las personas se separa a distancias menores a 0.5 metros; el 36.84 %

Figura 2. Procesamiento de imagen para la detección de personas en zonas de espacio público

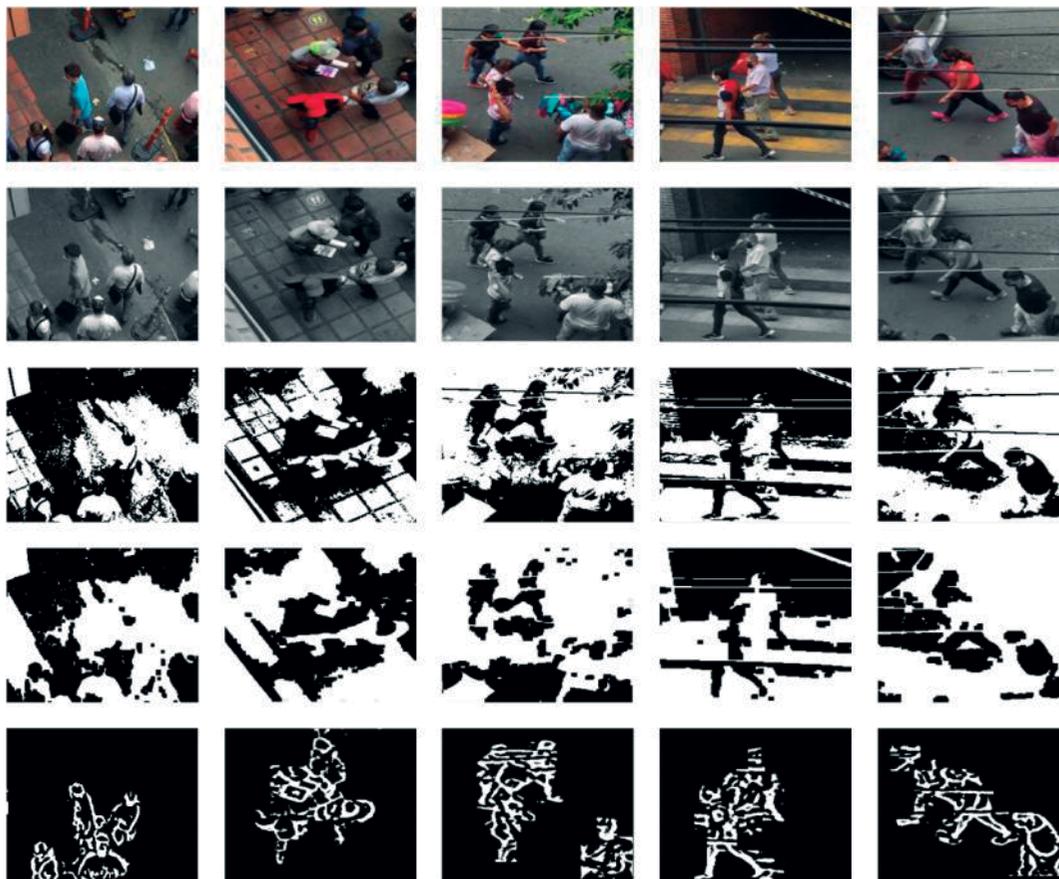


Figura 3. Obtención y camino entre centroides de las detecciones



Tabla 1. Relación diaria del número de personas y distanciamiento entre ellas

Rango de distancia	Número de personas por día															\bar{x}	σ
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
0 m - 0.5 m	8	11	10	9	8	9	10	11	11	10	8	7	10	11	10	10	1.30
0.5 m - 1 m	25	25	29	30	27	26	25	27	28	29	30	27	26	28	29	28	1.76
1 m - 1.5 m	16	17	20	19	20	17	18	18	16	15	20	19	18	18	17	18	1.55
1.5 m - 2 m	6	5	7	8	10	9	7	7	8	10	6	5	9	8	7	8	1.59
Superiores a 2 m	9	12	14	11	10	16	12	11	14	11	12	10	13	11	9	12	1.95

se distancia entre 0.5 metros y 1 metro; el 23.68 % de la ciudadanía se aleja entre 1 metro y 1,5 metros; mientras que el 10.53 % se distancia entre 1.5 y 2 metros. De la misma manera, el 15.79 % de las personas toma distancias entre sí superiores a dos metros. Además, se presentan los valores medios del número de personas aproximados por exceso y la desviación estandar de estos, siendo 1.30 la variación del número de personas distanciadas a menos de 0.5 metros; 1.76 para quienes se alejan entre 0.5 y 1 metro; 1.55 si se distancian entre 1 y 1.5 metros; 1.59 para las personas que se separan entre 1.5 y 2 metros, y 1.95 para quienes cumplen la medida de distanciamiento social al alejarse mínimo dos metros.

En adición, en la figura 4, se presenta una comparación entre las imágenes con los centroides detectados y mostrados en la fila superior de la misma figura y los centroides obtenidos posterior a la estimación de distancia. En color verde se muestra a quienes cumplen la medida de distanciamiento social, mientras que en color rojo se presenta a quienes no.

El procesamiento de las imágenes y el cálculo de distancia entre centroides indica que solo el 15.79 % de las personas que intervienen en la escena del vídeo cumplen con el distanciamiento social de dos metros, medida expuesta tanto en la circular municipal 023 de 2020, como

Figura 4. Visualización resultate del sistema de procesamiento con verificación del cumplimiento de la medida de distanciamiento social



en las recomendaciones de las comunidades académicas y científicas, por lo que la zona céntrica de la ciudad de Cúcuta podría convertirse en un foco de contagio por COVID-19.

La elevada cifra de incumplimiento a la medida de distanciamiento social refleja una desviación en las conductas sociales de la ciudadanía cucuteña que se encuentra dentro de los estándares de las ciudades fronterizas, donde, por asimetrías entre modelos de los países, se crean dinámicas sociales, culturales y económicas fuera de los patrones (Albornoz et al., 2019). Las aglomeraciones en zonas de espacio público, así como los desórdenes presentes en los ambientes urbanos en San José de Cúcuta pueden ser fruto de la percepción de un ambiente de ilegalidad y comportamientos no basados en seguimiento de las normas convencionales.

El método propuesto para la detección de personas logra una eficiencia promedio de 90.17 %, ya que, por la altura de ubicación del dispositivo de captura de video (4.5 metros), es posible tener en consideración a todas las personas presentes en el cuadro principal de la imagen, pues, de esta forma, se evita la superposición entre ellas, y, por la umbralización adaptativa de Otsu, se suprimen errores debido a la variación en el nivel de luminosidad y ruido en la imagen de entrada. Igualmente, el método de los momentos, utilizado para la ubicación de los centroides, se basa en la estimación del espacio ocupado por las personas y toma como referencia al dorso de los humanos; de este modo, el sistema hace un escaneo en todas las direcciones posibles en búsqueda de otro centroide, ya que, en caso de basarse en las extremidades superiores o inferiores, se limitaría la búsqueda a la dirección en la que se dirige la persona. Entre tanto, el cálculo de la distancia por el método euclidiano da simplicidad a la propuesta investigativa, puesto que su valor se obtiene mediante operaciones matemáticas básicas y no requiere de procesos adicionales en el sistema.

■ Conclusiones

El método propuesto en la prueba piloto permitió conocer el nivel de cumplimiento a la medida de distanciamiento social recomendado por la comunidad científica y estipulado por las entidades gubernamentales. La técnica de sustracción de fondo con segmentación por inspección de picos y umbralización adaptativa por el método de Otsu y estimación de distancia euclidiana, indica que el 84.21 % de las personas que transitan en la zona céntrica de la ciudad de Cúcuta, Colombia, incumplen con el distanciamiento social de dos metros recomendado por la comunidad científica

y expuesta en la circular municipal 023 de 2020. El 50 % de las personas se separa a distancias menores de 1 metro, y el 34.21 % se aleja entre 1 y 2 metros. En contraparte, solo el 15.79 % de la ciudadanía cumple con la medida de distanciamiento social. Asimismo, la desviación estándar, entre 1.30 y 1.95, permite inferir que las personas tienden a incumplir el distanciamiento social.

El uso de la técnica de sustracción de fondo con segmentación por inspección de picos, aplicada en el procesamiento a imágenes de video para la detección de personas en espacios abiertos, es susceptible a variaciones en los niveles de luminosidad que generan sombras y superposición en las detecciones, lo que afecta la tasa de aciertos.

La propuesta investigativa hizo referencia a una prueba piloto de 15 días con videos capturados en horas en las que no se presentan restricciones de movilidad, para emular el comportamiento normal de circulación de personas en la zona céntrica de la ciudad de Cúcuta, y se obtuvo un promedio de aciertos en el proceso de 90.17 %, que se encuentra dentro de los valores estipulados por la literatura para procesos de detección de personas por sustracción de fondo. Con esto, se propone como trabajo futuro la implementación del sistema de detección y estimación de distancia en diversos puntos del centro de la ciudad de Cúcuta, basado en una red de computación en la nube, en la que, en tiempo real, se suministre información a las autoridades competentes acerca de las zonas en donde se está violando la medida de distanciamiento social. Lo anterior con el fin de contribuir a la disminución del riesgo de expansión de la COVID-19.

Se propone también la implementación del sistema utilizando técnicas tanto de aprendizaje automático como de aprendizaje profundo para la detección de personas, como clasificadores en cascada, flujo óptico, histograma de gradientes orientados con máquina de vectores de soporte y redes neuronales convolucionales. Por otra parte, la adquisición de la imagen de video puede mejorarse al utilizar detectores pasivos infrarrojos PIR y cámaras térmicas ubicadas al exterior de los establecimientos comerciales de la ciudad, para conocer la temperatura corporal de las personas que deseen ingresar.

■ Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de interés de ninguna índole que limiten o impidan la implementación de la propuesta investigativa y/o la divulgación de los resultados obtenidos.

Referencias

- Albornoz, N., Mazuera, R., Millán-Vázquez, G., & Briceño-León, R. (2019). Los pactos sociales y el contrabando en la frontera colombo-venezolana. *Convergencia Revista de Ciencias Sociales*, 81, 1-26. <https://doi.org/10.29101/crcs.v26i81.9369>
- Arenas, M. D., Villar, J., Gonzáles, C., Cao, H., Collado, S., Crespo, M.,..., Pascual, J. (2020). Manejo de la epidemia por coronavirus SARS-CoV-2(COVID-19) en unidades de hemodiálisis. *Nefrología*, 40(3), 258-264. <https://doi.org/10.1016/j.nefro.2020.04.001>
- Arévalo, D. A., Castañeda, D. R., & Castañeda, J. I. (2014). Segmentación Visual Robusta utilizando el Plano RCrR y la Distancia de Mahalanobis. *Inge@UAN*, 5(9), 67–76.
- Arranz, J., & Molero, J. M. (2020). Coronavirus (CoV). In *Sociedad Española de Medicina de Familia y Comunitaria*. <https://www.semfyc.es/wp-content/uploads/2020/03/covid-19-semFYC.pdf>
- Briñez de León, J. C., Restrepo, A., & López, F. E. (2013). Similarity metrics applied to image analysis of photoelasticity. *DYNA (Colombia)*, 80(179), 42–50.
- Diario La Opinión. (2019). Cifras del censo no les cuadran a alcaldes del área metropolitana de Cúcuta. <https://bit.ly/3jYo6lB>
- Domínguez, S. (2015). Análisis de imágenes mediante el método de los momentos usando funciones de base continuas a intervalos (PCBF). *RIAI - Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, 12(1), 69-78. <https://doi.org/10.1016/j.riai.2014.11.006>
- Elhoseny, M. (2019). Multi-object Detection and Tracking (MODT) Machine Learning Model for Real-Time Video Surveillance Systems. *Circuits, Systems, and Signal Processing*. <https://doi.org/10.1007/s00034-019-01234-7>
- Fosalau, C., Zet, C., & Gafencu, N. (2018). Distance Measurement for Traffic Safety Applications. *EPE 2018 - Proceedings of the 2018 10th International Conference and Expositions on Electrical And Power Engineering*, 1029-1035. <https://doi.org/10.1109/ICEPE.2018.8559923>
- Girolami, M., Mavilia, F., & Delmastro, F. (2020). Sensing social interactions through BLE beacons and commercial mobile devices. *Pervasive and Mobile Computing*, 67, 101198. <https://doi.org/10.1016/j.pmcj.2020.101198>
- Huamán, P. (2016). Umbralización múltiple utilizando el método de Otsu para reconocer la luz roja en semáforos. *Scientia*, 17(17), 247-262. <https://doi.org/10.31381/scientia.v17i17.393>
- Jeon, E. S., Choi, J. S., Lee, J. H., Shin, K. Y., Kim, Y. G., Le, T. T., & Park, K. R. (2015). Human detection based on the generation of a background image by using a far-infrared light camera. *Sensors (Switzerland)*, 15(3), 6763-6788. <https://doi.org/10.3390/s150306763>
- Kim, C., Lee, J., Han, T., & Kim, Y. M. (2018). A hybrid framework combining background subtraction and deep neural networks for rapid person detection. *Journal of Big Data*, 5, 1-24. <https://doi.org/10.1186/s40537-018-0131-x>
- Leo, M., Medioni, G., Trivedi, M., Kanade, T., & Farinella, G. M. (2017). Computer vision for assistive technologies. *Computer Vision and Image Understanding*, 154, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.cviu.2016.09.001>
- Magaña, Z., Atoche, J., Molina, J., Blanco M, & Pérez, E. (2017). Estimación de la distancia a un objeto con visión computacional. *Ingeniería*, 21(2), 31-40. <https://www.revista.ingenieria.uady.mx/ojs/index.php/ingenieria/article/view/76>
- Marzan, C. S., & Marcos, N. (2018). Towards tobacco leaf detection using Haar cascade classifier and image processing techniques. *ACM International Conference Proceeding Series*, 63-68. <https://doi.org/10.1145/3282286.3282292>
- Ministerio de Sanidad. (2020). *Enfermedad por Coronavirus, COVID-19*. España.
- Neumann, L., & Vedaldi, A. (2019). Tiny People Pose. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 11363 LNCS, 558–574. https://doi.org/10.1007/978-3-030-20893-6_35
- Niño, C. V., Castro, S. A., & Medina, B. (2020a). Caracterización para la ubicación en la captura de video aplicado a técnicas de visión artificial en la detección de personas. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada RCTA*, 2(36), 83-88. <https://doi.org/10.24054/16927257.v36.n36.2020.3720>
- Niño, C. V., Castro, S. A., Medina, B., & Guevara, D. (2020b). Análisis de viabilidad y diseño de un sistema electrónico para el seguimiento de la dinámica poblacional en la ciudad de Cúcuta. *Ingenierías USBMed*, 11(1), 56-64. <https://doi.org/10.21500/20275846.4489>
- Palacios, M., Santos, E., Velázquez, M. A., & León, M. (2020b). Covid-19, a worldwide public health emergency. *Revista Clínica Española*, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.rce.2020.03.001>
- Paul, M., Haque, S. M. E., & Chakraborty, S. (2013). Human detection in surveillance videos and its applications - a review. *Eurasip Journal on Advances in Signal Processing*, 2013(1), 1-16. <https://doi.org/10.1186/1687-6180-2013-176>

- Revista Dinero. (2020). Cuánto fue el desempleo de Colombia en enero de 2020. <https://www.dinero.com/economia/articulo/cuanto-fue-el-desempleo-de-colombia-en-enero-de-2020/282195>
- Ruiz-Pérez, J. I., & Aparicio, J. (2020). Análisis espacio-temporal del incumplimiento de normas legales sobre el confinamiento en Colombia por COVID-19. *Revista Logos Ciencia & Tecnología*, 12(3), 20-32. <https://doi.org/10.22335/rlect.v12i3.1251>
- Sánchez-Torres, G., & Taborda-Giraldo, J. A. (2014). Estimación automática de la medida de ocupación de playas mediante procesamiento de imágenes digitales. *Tecnológicas*, 17(33), 21. <https://doi.org/10.22430/22565337.543>
- Seemanthini, K., & Manjunath, S. S. (2018). Human detection and tracking using HOG for action recognition. *Procedia Computer Science*, 132(Iccids), 1317-1326. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.05.048>
- Shereen, M. A., Khan, S., Kazmi, A., Bashir, N., & Siddique, R. (2020). COVID-19 infection: Origin, transmission, and characteristics of human coronaviruses. *Journal of Advanced Research*, 24, 91-98. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2020.03.005>
- Siqueira, D. L., & Manso, A. (2016). People Detection and Tracking in Low Frame-rate Dynamic Scenes. *IEEE Latin America Transactions*, 14(4), 1966-1971. <https://doi.org/10.1109/TLA.2016.7483541>
- Suszyński, R., & Wawryn, K. (2015). Stars' centroid determination using PSF-fitting method. *Metrology and Measurement Systems*, 22(4), 547-558. <https://doi.org/10.1515/mms-2015-0047>
- Triana, N., Jaramillo, A. E., Gutiérrez, R. M., & Rodríguez, C. A. (2016). Técnicas de umbralización para el procesamiento digital de imágenes de GEM-Foils. *Scientia et Technica*, 21(4), 352. <https://doi.org/10.22517/23447214.13271>
- Vargas, G., Neira, O., Arango, R., & Fernando, D. (2013). Métodos de segmentación de nubes en imágenes satelitales. *Cloud segmentation methods applied to satellite images. Tecnura*, 17(36), 96-110.
- Zhang, M., & Xin, M. (2016). Human detection using random color similarity feature and random ferns classifier. *PLoS ONE*, 11(9), 1-13. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0162830>

Referencias legales

- Alcaldía municipal de San José de Cúcuta. (2020). *Decreto 117 del 4 de abril de 2020, por el que se establece transitoriamente en el municipio de Cúcuta el sistema de pico y cédula de ciudadanía.*
- Ministerio de Salud y Protección Social. (2020). *Decreto 539. Por el cual se adoptan medidas de bioseguridad para mitigar, evitar la propagación y el adecuado manejo de la pandemia del COVID-19.*
- Ministerio del Interior. (2020). *Decreto 749. Por el cual se imparten instrucciones en virtud de la emergencia sanitaria generada por la pandemia del Coronavirus COVID-19, y el mantenimiento del orden público.*
- Secretaría de Gobierno de San José de Cúcuta. (2020). *Circular Externa 023 por la que se determina la implementación de protocolos de bioseguridad en el espacio público.*
- Secretaría de Tránsito y Transporte de San José de Cúcuta. (2020). *Resolución 0110 de 2020.*