



UNIVERSIDAD PEDAGOGICA  
NACIONAL

SISTEMA DE VALORACIÓN ANTROPOMÉTRICA PARA ESTIMAR LA MASA DE PERSONAS POSTRADAS EN  
CAMA BASADO EN VISIÓN POR COMPUTADOR

JORGE FAYAD SIERRA

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL  
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA, DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA  
BOGOTÁ, COLOMBIA

2021

SISTEMA DE VALORACIÓN ANTROPOMÉTRICA PARA ESTIMAR LA MASA DE PERSONAS POSTRADAS EN  
CAMA BASADO EN VISIÓN POR COMPUTADOR

JORGE FAYAD SIERRA

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR AL TÍTULO DE:  
LICENCIADO EN ELECTRÓNICA

DIRECTOR (A):

DAVID PEÑA MORALES

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA, DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA

BOGOTÁ, COLOMBIA

2021

*“Y todo lo que hagan, háganlo de corazón, como para el Señor y  
no como para la gente”*

*Colosenses 3:23*

*Dedicado a George Bachir Fayad. Su memoria siempre  
permanecerá en mi corazón.*

## Agradecimientos

A Dios, por la oportunidad de realizar este proyecto, a la universidad por abrir su disposición en recibirlo; a mis padres por su incondicional apoyo, a María Daniela Vargas por su paciencia y disposición en las pruebas iniciales y a mi asesor, David Peña Morales, por no temer a compartir su conocimiento, a dar su mentoría y creer abnegadamente en este proyecto.

## Tabla de contenido

Agradecimientos .....	5
Listado de tablas.....	9
Listado de figuras .....	10
Listado de ecuaciones .....	12
Listado de algoritmos .....	13
Resumen.....	14
<i>Abstract</i> .....	15
1. Introducción .....	16
2. Justificación .....	18
3. Objetivos .....	21
3.1. Objetivo general .....	21
3.2. Objetivos específicos .....	21
4. Antecedentes .....	22
4.1. Línea de tiempo.....	22
5. Metodología .....	25
5.1. Desarrollo de algoritmos.....	26
5.2. Construcción de la estructura .....	26
5.3. Discusión y observaciones.....	26
6. Marco Teórico .....	27
6.1. Antropometría.....	27
6.1.1. Estatura .....	27
6.1.2. Perímetro de pantorrilla.....	28
6.1.3. Perímetro de bíceps .....	28
6.1.4. Perímetro de cintura .....	29
6.1.5. Altura a la rodilla .....	29
6.1.6. Envergadura .....	30
6.1.7. Masa Corporal .....	30
6.1.8. Canon de la figura humana .....	31
6.2. Procesamiento digital de señales.....	33
6.2.2. Filtros digitales .....	33
6.2.3. Máscaras de convolución .....	34

6.3.	Visión por computador.....	34
6.3.1.	Imagen RGB .....	35
6.3.2.	Imagen de profundidad .....	35
6.3.3.	Sistema de visión por computador.....	36
	Sistemas de clasificación .....	38
6.4.	.....	38
6.4.1.	Regresión lineal .....	38
6.4.2.	Regresión polinómica .....	38
6.4.3.	Red neuronal .....	38
6.4.4.	Aprendizaje profundo.....	39
6.5.	Descriptores estadísticos.....	40
6.5.1.	Precisión .....	40
6.5.2.	Exactitud .....	40
6.5.3.	Error cuadrático medio .....	40
6.5.4.	Promedio .....	41
6.5.5.	Media y mediana .....	41
6.5.6.	Desviación estándar .....	41
6.5.7.	Varianza .....	42
7.	Descripción del sistema.....	42
7.1.	Componentes del sistema .....	42
7.1.1.	Cámara y sensores.....	42
7.1.2.	Computador .....	43
7.1.3.	<i>Software</i> de procesamiento de señales .....	44
7.1.4.	Interfaz de usuario .....	44
7.2.	<i>Prototipo de estructura</i> .....	45
7.2.1.	Diseño.....	45
7.2.2.	Estructura .....	46
7.3.	Delimitación del escenario .....	47
7.3.1.	Condiciones de iluminación.....	47
7.3.2.	Altura del sensor .....	48
7.3.3.	Textura y color de las superficies .....	48
8.	Resultados experimentales .....	50
8.1.	Segmentación de la figura humana en imagen RGB .....	50

8.2.	Segmentación de la figura humana en imagen de profundidad .....	54
8.3.	División de la figura en partes iguales .....	56
8.4.	Estimación de medidas lineales .....	57
8.4.1.	Estatura .....	61
8.4.2.	Altura a la rodilla .....	61
8.4.3.	Envergadura .....	62
8.5.	Estimación de circunferencias .....	63
8.5.1.	Aproximación de longitud elíptica .....	64
8.5.2.	Circunferencia de pantorrilla .....	65
8.5.3.	Circunferencia de bíceps .....	66
8.5.4.	Circunferencia de cintura .....	67
8.6.	Estimación de la masa corporal .....	68
8.7.1.	Protocolos para realización de prueba .....	68
8.7.2.	Datos estimados .....	69
8.7.3.	Estimación de características del sistema .....	74
8.7.3.1.	Error cuadrático medio .....	74
8.7.3.2.	Exactitud .....	74
8.7.3.3.	Precisión .....	75
8.8.	Discusión y análisis de resultados .....	79
9.	Conclusiones .....	80
10.	Recomendaciones .....	82
11.	Referencias .....	83
12.	Anexos .....	89



## Listado de tablas

<b>Tabla 1.</b> Comparativo de estimación de medidas respecto a la <b>estatura</b> de los participantes. ....	69
<b>Tabla 2.</b> Comparativo de medidas reales vs. medidas estimadas de envergadura. ....	70
<b>Tabla 3.</b> Comparativo de medidas reales vs. medidas estimadas de la altura a la rodilla. ....	70
<b>Tabla 4.</b> Comparativo de medidas reales vs. medidas estimadas del perímetro de pantorrilla. ....	71
<b>Tabla 5.</b> Comparativo de medidas reales vs. medidas estimadas del perímetro de bíceps. ....	72
<b>Tabla 6.</b> Comparativo de medidas reales vs. medidas estimadas del perímetro de cintura. ....	72
<b>Tabla 7.</b> Comparativo de estimación de masa corporal. ....	73
<b>Tabla 8.</b> Error cuadrático medio en cada magnitud. ....	74
<b>Tabla 9.</b> % de exactitud en cada magnitud. ....	75

## Listado de figuras

<b>Figura 1.</b> Estimación de la estatura. ....	28
<b>Figura 2.</b> Toma de perímetro de pantorrilla. ....	28
<b>Figura 3.</b> Toma de perímetro de brazo. ....	29
<b>Figura 4.</b> Toma de perímetro de cintura. ....	29
<b>Figura 5.</b> Altura de la rodilla. ....	30
<b>Figura 6.</b> Estimación de la envergadura. ....	30
<b>Figura 7.</b> Canon de la figura humana. ....	32
<b>Figura 8.</b> Canon de la figura humana en diseño de modas.....	32
<b>Figura 9.</b> Composición de imagen RGB. ....	35
<b>Figura 10.</b> Captura de imagen en escala de grises.....	37
<b>Figura 11.</b> Componentes de sistema de procesamiento de imágenes.....	37
<b>Figura 12.</b> Estructura de una red neuronal. ....	39
<b>Figura 13.</b> El sensor Kinect 2 de consola la XBOX 360 de Windows. ....	43
<b>Figura 14.</b> Imagen del computador portátil utilizado en el ejercicio académico. ....	44
<b>Figura 15.</b> Interfaz de usuario sin prueba experimental. ....	45
<b>Figura 16.</b> Altura del sensor. ....	48
<b>Figura 17.</b> Modelado del escenario con iluminación. ....	49
<b>Figura 18.</b> Imagen RGB, capturada por Kinect.....	51
<b>Figura 19.</b> Imagen original, recortada. ....	51
<b>Figura 20.</b> Histograma de la imagen en escala de grises.....	52
<b>Figura 21.</b> Imagen invertida en escala de grises. ....	52
<b>Figura 22.</b> Imagen binarizada con suavizado. ....	53
<b>Figura 23.</b> Segmento binarizado con bounding box.....	54
<b>Figura 24.</b> 2D de la figura humana extraída. ....	54
<b>Figura 25.</b> Visualización de imagen en profundidad.....	55
<b>Figura 26.</b> Imagen en profundidad binarizada. ....	55
<b>Figura 27.</b> Figura humana binarizada y ajustada a bounding box. ....	56
<b>Figura 28.</b> Segmentación de la imagen binarizada.....	56
<b>Figura 29.</b> Identificación de pixeles de objetos en cama.....	57
<b>Figura 30.</b> Regresión de orden 1. ....	58
<b>Figura 31.</b> Regresión de orden 2. ....	58
<b>Figura 32.</b> Regresión de orden 3. ....	58
<b>Figura 33.</b> Regresión de orden 4. ....	59
<b>Figura 34.</b> Regresión de orden 5. ....	59

<b>Figura 35.</b> Comparación de resultados de funciones de regresión. ....	60
<b>Figura 36.</b> Región de altura a la rodilla.....	61
<b>Figura 37.</b> Concatenación de regiones para obtener la envergadura.....	62
<b>Figura 38.</b> Procesamiento de subregiones para obtener el valor de la envergadura. ....	63
<b>Figura 39.</b> Altura y eje mayor de la pantorrilla. ....	66
<b>Figura 40.</b> Altura y eje mayor del bíceps.....	67
<b>Figura 41.</b> Eje mayor y menor de la cintura. ....	67
<b>Figura 42.</b> Dispersión de puntos entre medidas reales y medidas estimados de estatura. ....	69
<b>Figura 43.</b> Dispersión de puntos entre medidas reales y medidas estimadas de la envergadura .....	70
<b>Figura 44.</b> Dispersión de puntos entre medidas reales y medidas estimadas de altura a la rodilla. ....	71
<b>Figura 45.</b> Dispersión de puntos entre medidas reales y medidas estimadas de perímetro de pantorrilla. ....	71
<b>Figura 46.</b> Dispersión de puntos entre medidas reales y medidas estimadas de perímetro de bíceps. ....	72
<b>Figura 47.</b> Dispersión de puntos entre medidas reales y medidas estimadas de perímetro de cintura.....	73
<b>Figura 48.</b> Dispersión de puntos del comparativo de la estimación de masa corporal.....	73
<b>Figura 49.</b> Curva de precisión de la estatura. ....	75
<b>Figura 50.</b> Curva de precisión de la envergadura.....	76
<b>Figura 51.</b> Curva de precisión de la altura a la rodilla. ....	76
<b>Figura 52.</b> Curva de precisión de la circunferencia de bíceps.....	77
<b>Figura 53.</b> Curva de precisión de la circunferencia de la cintura. ....	77
<b>Figura 54.</b> Curva de precisión de la circunferencia de pantorrilla.....	78
<b>Figura 55.</b> Curva de precisión de la masa corporal.....	78

## Listado de ecuaciones

<b>Ecuación 1.</b> Modelo de regresión lineal. ....	37
<b>Ecuación 2.</b> Función estadística general para hallar el ECM.....	40
<b>Ecuación 3.</b> Media aritmética. ....	41
<b>Ecuación 4.</b> Fórmula de la desviación típica. ....	41
<b>Ecuación 5.</b> Fórmula para obtener una varianza. ....	42
<b>Ecuación 6.</b> Segmentación de la figura humana en imagen RGB. ....	47
<b>Ecuación 7.</b> Obtención de imagen RGB en escala de grises. ....	48
<b>Ecuación 8.</b> Umbral T en relación con la altura del sensor. ....	51
<b>Ecuación 9.</b> Definición de conjuntos.....	54
<b>Ecuación 10.</b> Polinomio hallado para convertir de pixeles a centímetros.....	58
<b>Ecuación 11.</b> Ecuación para obtener la estatura del paciente. ....	58
<b>Ecuación 12.</b> Ecuación para obtener la altura de la rodilla.....	59
<b>Ecuación 13.</b> Ecuación de tercer orden para hallar envergadura. ....	64
<b>Ecuación 14.</b> Aproximación a la longitud de la elipse. ....	64
<b>Ecuación 15.</b> Medida en profundidad del centroide. ....	66
<b>Ecuación 16.</b> Conversión del eje mayor de la elipse de pixeles a centímetros. ....	67
<b>Ecuación 17.</b> Perímetro de pantorrilla. ....	68
<b>Ecuación 18.</b> Perímetro de bíceps. ....	69
<b>Ecuación 19.</b> Perímetro de la cintura. ....	70
<b>Ecuación 20.</b> Fórmula para hallar la masa corporal. ....	71
<b>Ecuación 21.</b> Proceso para hallar el error cuadrático medio. ....	75
<b>Ecuación 22.</b> Desviación estándar.....	75
<b>Ecuación 23.</b> Campana de Gauss para determinar la precisión de datos. ....	76

## Listado de algoritmos

<b>Algoritmo 1.</b> Segmentación de la figura humana en imagen RGB. ....	53
<b>Algoritmo 2.</b> Segmentación de figura humana en imagen de profundidad. ....	55
<b>Algoritmo 3.</b> Para obtención del cálculo de la envergadura.....	62
<b>Algoritmo 4.</b> Estimación del eje mayor de la elipse. ....	64
<b>Algoritmo 5.</b> Estimación del eje menor de la elipse. ....	64

## Resumen

La estimación subjetiva de medidas antropométricas, como la estatura y la masa corporal a personas postradas en cama, suele tener inexactitudes en la valoración de tales magnitudes, lo que trae como consecuencia que en algunos casos halla errores en la formulación de fármacos o parametrización de ventiladores mecánicos; esto puede poner en riesgo la vida de los pacientes.

Por lo anterior, aprovechando las bondades de la visión por computador, se plantea el proyecto *Sistema De Valoración Antropométrica Para Estimar La Masa De Personas Postradas En Cama Basado En Visión Por Computador*, con la intención de hacer una primera versión de un instrumento que estime estatura, envergadura, altura a la rodilla, perímetros de brazo, pantorrilla, cintura; así como la masa corporal del paciente.

El sistema se desarrolló bajo un escenario controlado en términos de iluminación, un prototipo de estructura que sostiene un sensor Kinect V2 a una altura determinada, para capturar la imagen RGB y en profundidad de un paciente acostado y procesarlas, logrando estimar las medidas mencionadas en el párrafo anterior.

Los resultados indican que el sistema se encuentra en una fase inicial, ya que la varianza del peso es del 10% y el sistema es susceptible a recibir mejoras, a partir de implementar técnicas avanzadas como segmentación semántica y estimación de pose.

**Palabras clave:** Antropometría, decúbito supino, dispersión, error, estatura, estructura, exactitud, Kinect, masa, precisión, sensor.

## *Abstract*

*The subjective estimation of anthropometric measures, such as height and body mass in bedridden people, tends to have inaccuracies in the assessment of such magnitudes, hence, in some cases there are errors in drug formulation or parameterization of mechanical ventilators; this can put patients' lives at risk.*

*Therefore, taking the benefits of computer vision, the project Anthropometric Estimation System for body Mass estimation to Bedridden People Based on Computer Vision is proposed, as an attempt to make a first version of an instrument that estimates stature, wingspan, height to the knee, arm, calf, waist perimeters; as well as the patient's body mass.*

*The system was developed under a controlled scenario in terms of lighting, using the prototype of a structure that supports a Kinect V2 sensor at a certain height, to capture the RGB and depth images of a lying patient and process them, managing to estimate all measurements mentioned in the previous paragraph.*

*Results indicate that the system at the moment at an initial stage, since the variance of the weight is 10% and the system is susceptible to improvements, starting from implementing advanced techniques such as semantic segmentation and pose estimation.*

**Keywords:** *Accuracy, anthropometry, error, height, Kinect, precision, perimeter, sensor, weight.*

## 1. Introducción

El desarrollo de instrumentos para la estimación de medidas le ha permitido al ser humano conocer sus dimensiones fisionómicas como la estatura, envergadura y masa corporal, a tal punto de aplicar estas longitudes en campos como el arte, el diseño, la ergonomía y la salud. Contribuyendo así a la evolución de técnicas de medición, utilizando elementos como la báscula y la cinta métrica.

No obstante, aún existen limitaciones para realizar valoraciones antropométricas con una considerable exactitud, particularmente en el área de la salud. En primer lugar, porque usualmente las mediciones en salas de cuidados intensivos son realizadas de manera subjetiva por parte del médico encargado, ya que no siempre es posible hacer estimaciones acertadas de la masa corporal y la talla, antes o durante la estancia del paciente por motivos como el estado en que está, mientras es atendido. (García, 2013), y, en segundo lugar, porque la estimación subjetiva de estas medidas en UCI genera dificultades para determinar con exactitud las dosis de fármacos a suministrar, entre ellas la anestesia. Esto fue evidenciado en el estudio *Estimación subjetiva del peso y talla de los pacientes de UCI*, realizado por Martín García del Moral.

*En esta investigación.* académicos españoles identificaron que, después de tomar 177 estimaciones de masa corporal y talla a pacientes postrados en cama, cerca del “63 % de estas estimaciones cometen un error absoluto para una magnitud superior a 5kg, el 54 % mayor de 5cm para la talla y el 60 % mayor de 2,5kg/m<sup>2</sup> para el IMC”<sup>1</sup>, (García, 2013).

Asimismo, la valoración de masa corporal y talla no solo son necesarios para la formulación de fármacos anticoagulantes o técnicas de reemplazo renal, sino también para establecer parámetros de ventilación mecánica (García, 2013), un asunto de particular interés en este estudio debido a los efectos ocasionados en pacientes con patologías respiratorias, entre ellos, las causados por el Covid-19.

---

**1 Índice de masa corporal: Relación entre masa corporal y talla de una persona.**



El campo de la nutrición, por su parte, viene trabajando en el desarrollo de estrategias e instructivos pensados para estimar de forma exacta la toma de medidas de circunferencias, longitudes de extremidades y la valoración de la masa de una persona postrada en cama; es decir, acostada boca arriba o como se conoce formalmente, en posición decúbito supino<sup>2</sup>.

Gracias a la evolución de la computación es posible realizar procesamientos eficientes de fotografías para hallar características de objetos como su tamaño o volumen, a través de la interpretación de píxeles, aplicando diferentes técnicas, que permiten clasificar las partes del cuerpo del paciente que se requieran medir, para calcular el valor de la masa corporal.

Por lo anterior, este proyecto pretende abordar los retos presentados anteriormente, a partir de la integración del *Instructivo para la toma y registro de medidas antropométricas de adultos y adultas con discapacidad y dificultad para asumir la bipedestación (Secretaría de Integración Social de Bogotá, 2012)* y los avances técnicos en segmentación y capacidad de estimación de medidas de objetos que ofrece el procesamiento de imágenes.

En el capítulo 7 de este documento se detalla sobre la delimitación del escenario, también de la estructura y su diseño. El capítulo 8 describe el proceso para segmentar la figura humana y hacer la valoración de las magnitudes mencionadas en los objetivos del proyecto, donde posteriormente se analizan los resultados experimentales obtenidos por una muestra de diez personas, describiendo los protocolos de bioseguridad seguidos por la pandemia de la COVID-19.

Finalmente, el acápite 9, en el que se presentan las conclusiones del proyecto y las recomendaciones para próximas mejoras al proyecto, en el capítulo 10.

---

<sup>2</sup> El término decúbito supino (del latín *decubitus* 'recostarse') se emplea en el gremio de la salud para referirse a la posición de una persona en reposo horizontal sobre su espalda. (RAE)

## 2. Justificación

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), es fundamental proporcionar servicios médicos de calidad, teniendo en cuenta criterios como la eficacia, la eficiencia y la oferta de escenarios en los que el paciente sea el centro (OMS, 2021). Por lo tanto, en este desarrollo surge la importancia de abordar las limitaciones que existen respecto a la valoración antropométrica de personas postradas en cama, ya que, en muchos casos, los criterios sugeridos por la OMS no se cumplen en su totalidad.

Un aspecto para considerar es la estimación de la masa corporal de una persona en Unidades de Cuidados Intensivos (UCI) porque se recomienda que, en primera instancia, el paciente sea quien indique estos datos. (Corbo, 2005). Sin embargo, dependiendo el estado en que puede llegar al centro asistencial o debido, en muchas ocasiones, al desconocimiento concreto de la magnitud de la masa corporal, no siempre se logra obtener un dato preciso. Esto incide en la prestación eficiente del servicio de salud.

Por lo anterior, es frecuente encontrar que el cuerpo médico de la sala se encarga de realizar una valoración subjetiva de la estatura y masa corporal de la persona, lo que debería ser la última instancia de para tomar estas medidas, ya que se considera poco fiable. (Fernandes, 1999).

Así, la inexactitud en la valoración antropométrica subjetiva a los pacientes afecta la prestación de un servicio sanitario de calidad y también la precisión para la formulación de medicamentos, los cuales pueden incidir en el deceso de personas. Por ejemplo, la mortalidad en 30 días<sup>3</sup>, después de ser remitidos a una sala de hospital por infarto, es significativamente más alta en pacientes con errores en formulación, llegando a ser del 7.7 % de la población que ingresa; frente a un 5.5% de la población que fallece, aun teniendo la dosificación adecuada. (Cannon, 2000).

---

**3 Muerte ocurrida entre uno y 30 días de ingreso a un hospital. (McGraw-Hill Concise Dictionary of Modern Medicine. (2002))**

Reconociendo las limitaciones para valorar antropométricamente a personas encamadas, se han desarrollado técnicas de estimación, como la que se encuentra en el *Instructivo para la toma y registro de medidas antropométricas de adultos y adultas con discapacidad y dificultad para asumir la bipedestación* (Secretaría de Integración Social de Bogotá, 2012), en la que se valora al paciente, mediante instrumentos como cintas métricas y escuadras, permitiendo tomar medidas como circunferencia de brazo y pantorrilla, altura a la rodilla y estatura, para calcular el peso del paciente a través de una ecuación.

Si bien esta técnica es efectiva, requiere cambiar constantemente la posición del paciente y puede ser dispendiosa en su estimación debido la cantidad de pasos a seguir para medir cada una de las magnitudes.

Por otra parte, la integración de básculas en camillas ha permitido valorar con mayor exactitud la masa corporal de los pacientes en UCI, no obstante, los precios elevados de estos equipos, además de su calibración y mantenimiento, incrementan los costos de estadía en salas UCI, que llegan a alcanzar los \$2.4 millones de pesos diarios para el caso de un adulto (MinSalud, 2020), y limitan la cobertura y la posibilidad de tener acceso a una mejor valoración antropométrica a pacientes que lo requieran.

En Alemania, en el año 2018, se publicó un documento que explica el proceso para el desarrollo de una sala de traumatología con un sistema de visión por computador para tomar medidas (masa corporal, talla, entre otras) que permitieran el cálculo de dosis de medicamentos para pacientes (Pfitzner, 2018). Para esto, se implementaron técnicas de segmentación, estimación volumétrica y nubes de puntos, utilizando un Kinect versión 2 como sensor de detección, y se realizaron cálculos, basados en el principio de Arquímedes, para obtener cada una de las variables.

Teniendo en cuenta que dicha estimación tuvo en cuenta este procedimiento, es posible considerar la implementación de formulas, científicamente comprobadas, en las que sus variables sean halladas mediante la visión de máquina.

Por lo tanto, el trabajo presentado a continuación, tiene la intención de ser un desarrollo de un prototipo de sistema que aborde las necesidades presentadas y ser un aporte en la búsqueda de soluciones para obtener una valoración antropométrica más exacta de los pacientes postrados en cama, ya que, de elaborarse un instrumento preciso, se podrá brindar la acertada formulación de medicamentos; sugerir parámetros actualizados para el funcionamiento de ventiladores mecánicos, a propósito de la crisis sanitaria ocasionada por el Covid-19, y ofrecer alternativas médicas para proporcionar servicios sanitarios eficaces, eficientes y de calidad en el que las personas resulten favorecidas.

### 3. Objetivos

#### 3.1. Objetivo general

Desarrollar un sistema de medición basado en visión por computador que segmente, capture y analice magnitudes fisionómicas, para producir valoraciones antropométricas a personas postradas en cama, sin carencia de extremidades.

#### 3.2. Objetivos específicos

Diseñar y construir un prototipo de estructura que facilite la recepción de imágenes corporales para la valoración antropométrica en personas postradas en cama.

Desarrollar un programa de procesamiento de imagen para la segmentación de la figura y análisis fisionómico de personas postradas en cama.

Desarrollar un algoritmo para estimar masa corporal, estatura y circunferencias de brazo, pierna y abdomen, mediante el procesamiento de imágenes.

## 4. Antecedentes

### 4.1. Línea de tiempo

Lin, C. B., Dong, Z., Kuan, W. K., & Huang, Y. F. (2021). A framework for fall detection based on openpose skeleton and lstm/gru models. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(1), 1–20.  
<https://doi.org/10.3390/app11010329>

2021

2020

Seo, D., Kang, E., Kim, Y. mi, Kim, S. Y., Oh, I. S., & Kim, M. G. (2020). SVM-based waist circumference estimation using Kinect. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 191, 105418.  
<https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2020.105418>

Wang, L., Li, D., Zhu, Y., Tian, L., & Shan, Y. (2020). Dual super-resolution learning for semantic segmentation. *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 3773–3782.  
<https://doi.org/10.1109/CVPR42600.2020.00383>

Forschungsberichte in Robotik, W., Schilling Nüchter, K. A., & Wuerzburg Research Notes, U. (2019). Visual Human Body Weight Estimation with Focus on Clinical Applications.  
<https://opus.bibliothek.uni-wuerzburg.de>

Jiang, M., & Guo, G. (2019). Body Weight Analysis from Human Body Images. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 14(10), 2676–2688.  
<https://doi.org/10.1109/TIFS.2019.290484>

Kocabas, M., Athanasiou, N., & Black, M. J. (2019). VIBE: Video inference for human body pose and shape estimation. *ArXiv*, 5253–5263.

2019

2018

Fitriyah, H., & Edhi Setyaw, G. (2018). Automatic Estimation of Human Weight From Body Silhouette Using Multiple Linear Regression. *Proceeding of the Electrical Engineering Computer Science and Informatics*, 5(5).  
<https://doi.org/10.11591/eeesi.v5i5.1688>

Liu, Y., Sowmya, A., & Khamis, H. (2018). Single camera multi-view anthropometric measurement of human height and mid-upper arm circumference using linear regression. *PLoS ONE*, 13(4), 1–22.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0195600>

Pfützner, C., May, S., & Nüchter, A. (2018). Body weight estimation for dose-finding and health monitoring of lying, standing and walking patients based on RGB-D data. *Sensors (Switzerland)*, 18(5).  
<https://doi.org/10.3390/s18051311>

Pfützner, C., May, S., & Nüchter, A. (2017). Evaluation of Features from RGB-D Data for Human Body Weight Estimation. IFAC-PapersOnLine, 50(1), 10148–10153. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.1761>

# 2017

# 2016

Lifshitz, I., Fetaya, E., & Ullman, S. (2016). Human pose estimation using deep consensus voting. Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), 9906 LNCS, 246–260. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-46475-6\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-319-46475-6_16)

Gevers, T., & Smeulders, A. (2016). Foreword. Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), 9914 LNCS, V–V. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-46493-0>

Pfützner, C., May, S., & Nüchter, A. (2016, March). Neural Network-based Visual Body Weight Estimation for Drug Dosage Finding. Conference: Medical Imaging 2016. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3532.2642>

Leibe Bastian, Matas Jiri, Sebe Nicu, & Welling Max. (2016). Computer Vision – ECCV 2016 (B. Leibe, J. Matas, N. Sebe, & M. Welling, Eds.; Vol. 9906). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-46475-6>

# 2015

Pfützner, C., May, S., Merkl, C., Breuer, L., Kohrmann, M., Braun, J., Dirauf, F., & Nüchter, A. (2015). Libra3D: Body weight estimation for emergency patients in clinical environments with a 3D structured light sensor. Proceedings – IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2015–June(June), 2888–2893. <https://doi.org/10.1109/ICRA.2015.7139593>

Uhm, T., Park, H., & Park, J. il. (2015). Fully vision-based automatic human body measurement system for apparel application. Measurement: Journal of the International Measurement Confederation, 61, 169–179. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2014.10.044>

# 2013

Cook, T. S., Couch, G., Couch, T. J., Kim, W., & Boonn, W. W. (2013). Using the microsoft kinect for patient size estimation and radiation dose normalization: Proof of concept and initial validation. Journal of Digital Imaging, 26(4), 657–662. <https://doi.org/10.1007/s10278-012-9567-2>

Stančić, I., Musić, J., & Zanchi, V. (2013). Improved structured light 3D scanner with application to anthropometric parameter estimation. Measurement: Journal of the International Measurement Confederation, 46(1), 716–726. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2012.09.010>

# 2012

Velardo, C., & Dugelay, J. L. (2012). What can computer vision tell you about your weight? European Signal Processing Conference, November, 1980–1984.

Labati, R. D., Genovese, A., Piuri, V., & Scotti, F. (2012). Two-view contactless fingerprint acquisition systems: A case study for clay artworks. BioMS 2012 – 2012 IEEE Workshop on Biometric Measurements and Systems for Security and Medical Applications, Proceedings, 9–16. <https://doi.org/10.1109/BIOMS.2012.6345775>

# 2010

Velardo, C., & Dugelay, J. L. (2010). Weight estimation from visual body appearance. IEEE 4th International Conference on Biometrics: Theory, Applications and Systems, BTAS 2010, May 2014. <https://doi.org/10.1109/BTAS.2010.5634540>

# 2009

Lu, J. M., & Wang, M. J. J. (2008). Automated anthropometric data collection using 3D whole body scanners. Expert Systems with Applications, 35(1–2), 407–414. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2007.07.008>

Santner, K., Rüther, M., Bischof, H., Skrabal, F., & Pichler, G. (2009). Human Body Volume Estimation in a Clinical Environment.

Stancic, I., Supuk, T., & Cacic, M. (2009). Computer vision system for human anthropometric parameters estimation. WSEAS Transactions on Systems, 8(3), 430–439.

# 2008



## 5. Metodología

La metodología que se implementará en este proyecto es de carácter cuantitativo, de tipo experimental, debido a que se basará en el análisis estadístico de los resultados arrojados por el sistema de valoración antropométrica, el cual es diseñado intencionalmente con el fin de reconocer, capturar y analizar las magnitudes fisionómicas de personas postradas en cama (seleccionadas de manera aleatoria). Asimismo, es importante reconocer que esta metodología tiene en cuenta cuatro aspectos claves que son: “selección aleatoria, la manipulación, control y asignación al azar” (Mousalli, 2016), los cuales serán aplicados en este ejercicio académico así:

- Una selección aleatoria de 10 personas, de diferentes dimensiones antropométricas, que participarán como candidatos en el experimento.
- Prueba y manipulación de las condiciones lumínicas y espaciales del entorno en el que se realizará el experimento.
- Control sobre factores que pueden influir en el resultado de la investigación como lo es: la altura, tamaño y color de la cama que emulará el ambiente clínico.
- Asignación de las 10 personas que se medirán como el primer grupo experimental de este trabajo de investigación.

Asimismo, se diseñará una estructura que permitirá la captura de imágenes o en este caso, datos manipulados mediante algoritmos, a través de un sensor con el fin de valorar características antropométricas y finalmente, analizar la información obtenida y arrojar conclusiones en relación con la eficacia del instrumento.

La metodología para el desarrollo de este proyecto se compone por las siguientes etapas:

- Desarrollo de algoritmos
- Implementación de algoritmos en el sistema

- Evaluación del sistema
- Discusión y observaciones

Dichas fases están concatenadas y cada una de ellas se realizará de manera iterativa.

#### 5.1. Desarrollo de algoritmos

Durante esta etapa, se desarrollarán algoritmos que responderán a los retos planteados en el proyecto académico, los cuales harán un análisis matemático de los píxeles de las imágenes capturadas por el dispositivo Kinect V2, a través de la implementación de técnicas como la binarización de la imagen, segmentación de la figura humana, división de la imagen en regiones de interés, para hallar los valores de las medidas de perímetro de brazo, pierna, cintura; envergadura, altura y peso.

#### 5.2. Construcción de la estructura

En esta fase, se diseñará y construirá el prototipo de estructura que soportará, con una altura precisa, el dispositivo Kinect V2 para la captación de imágenes. Esta estructura cuenta con un modelo previamente diseñado y probado, el cual servirá de base para la implementación del prototipo actual. En los siguientes capítulos, encontrará las adaptaciones de la versión inicial.

#### 5.3. Discusión y observaciones

En esta etapa, se evaluará la eficiencia, precisión y exactitud del instrumento, a través del análisis de datos. Finalmente, se expondrán las conclusiones obtenidas de este ejercicio, se responderá a los objetivos propuestos en esta investigación y se expondrán ventajas y limitaciones evidenciadas con este sistema en contexto real.

## 6. Marco Teórico

Para el desarrollo apropiado del proyecto, es necesario abordar conceptos relacionados con la instrumentación industrial, como lo es la antropometría y sus aplicaciones (estatura, envergadura, perímetro de pantorrilla, brazo y cintura; altura de la rodilla, y peso); ampliar la idea del procesamiento digital de señales a través de filtros de señales y máscaras de convolución; ahondar en el concepto de visión por computador, imágenes RGB y de profundidad; aproximarnos a la descripción de sistemas de clasificación como regresión lineal y polinómica, redes neuronales y aprendizaje profundo, y finalmente, abordar algunos descriptores estadísticos que serán implementados en este trabajo como lo es la precisión, exactitud, error cuadrático medio, promedio, media y mediana, desviación estándar y varianza.

### 6.1. Antropometría

La antropometría es la rama de estudio cuantitativo de las características físicas del ser humano. Su origen proviene del griego *anthropos* (hombre) y *metrikos* (medida); esta área de estudio data de tiempos remotos, en los cuales se conoce que los egipcios tenían estándares de valoración antropométrica muy rígidos. (Cabello, 2012). No obstante, esta disciplina tiene varios campos de aplicación, entre estos, la nutrición.

La nutrición, como rama de estudio utiliza la antropometría para tomar valoraciones nutricionales en seres humanos y conocer su estado de salud.

#### 6.1.1. Estatura

La estatura, en términos físicos es la distancia de manera vertical de un cuerpo u objeto. Así, para este proyecto ha de entenderse la distancia evaluada desde el la base de los pies hasta el punto más alto de la cabeza. Este valor suele tomarse con una cinta métrica (ver figura 1).

**Figura 1.** *Estimación de la estatura.*<sup>4</sup>



#### 6.1.2. Perímetro de pantorrilla

El perímetro de la pantorrilla es estimado con cinta métrica y se toma como la máxima circunferencia que está entre el tobillo y la rodilla (ver figura 2).

**Figura 2.** *Toma de perímetro de pantorrilla.*<sup>5</sup>



#### 6.1.3. Perímetro de bíceps

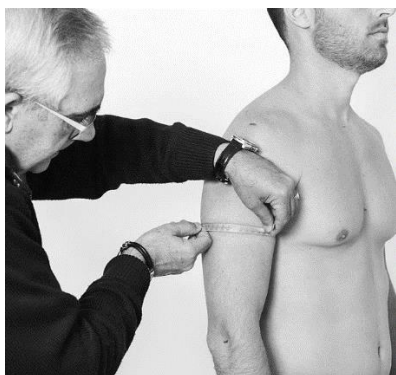
El perímetro de bíceps es la máxima circunferencia entre el hombro y el codo. Se estima utilizando una cinta métrica (ver figura 3).

---

**4 Fuente:** <https://889noticias.mx/wp-content/uploads/2019/09/A25AAAA0-9DF1-49CA-B245-8ED126DFDD92.jpeg>

**5 Fuente:** [https://mna-elderly.com/forms/mna\\_guide\\_spanish.pdf](https://mna-elderly.com/forms/mna_guide_spanish.pdf)

**Figura 3.** Toma de perímetro de brazo. <sup>6</sup>



#### 6.1.4. Perímetro de cintura

El perímetro de la cintura es tomado como máxima circunferencia entre la costilla inferior y la cresta ilíaca (borde superior del hueso coxal). Este valor se estima con una cinta métrica (ver figura 4).

**Figura 4.** Toma de perímetro de cintura. <sup>7</sup>



#### 6.1.5. Altura a la rodilla

La altura a la rodilla es la distancia que se toma desde el suelo al nivel del talón hasta el punto más alto de la articulación de la rodilla. Este valor se puede capturar con una cinta métrica o

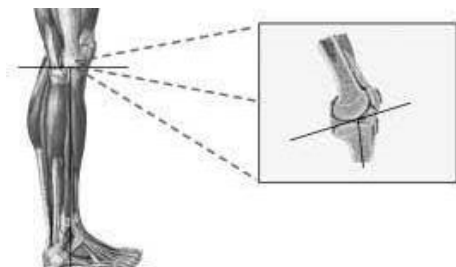
---

**6 Fuente:** [https://www.dietfarma.com/sites/default/files/brazo\\_relajado\\_0.jpg](https://www.dietfarma.com/sites/default/files/brazo_relajado_0.jpg)

**7 Fuente:** <https://encolombia.com/wp-content/uploads/2013/04/Per%C3%ADmetro-de-su-cintura-1.jpg>

antropómetro y es funcional debido a que este valor permite estimar la estatura de una persona (ver figura 5).

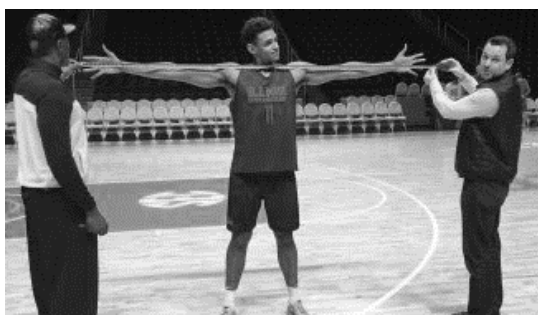
**Figura 5.** *Altura de la rodilla.*<sup>8</sup>



#### 6.1.6. Envergadura

La envergadura es la distancia entre el lóbulo del dedo medio de una mano hasta el de la mano contraria, con los brazos extendidos. Se puede medir con una cinta métrica o antropómetro. También, cuando se mide la distancia desde el lóbulo del dedo medio hasta la mitad de la clavícula, se le llama brazada y se considera que el doble de esta medida es igual a la envergadura de una persona (ver figura 6).

**Figura 6.** *Estimación de la envergadura.*<sup>9</sup>



#### 6.1.7. Masa Corporal

---

**8 Fuente:** <https://scielo.isciii.es/img/revistas/nh/v20n5/5-0560-00.gif>

**9 Fuente:** <https://www.gigantes.com/wp-content/uploads/2017/02/SebasSaizenvergadura-325x188.jpg>

Se considera la masa corporal como la estimación de la magnitud en kilogramos a través de la fuerza con la que un cuerpo actúa sobre un punto de apoyo, originado por la aceleración de la gravedad (Carmenate, 2014). Se estima con una báscula, estando la persona en posición erguida colocando sus pies sobre el instrumento de medición (ver figura 7).

**Figura 7.** Estimación de la masa corporal<sup>10</sup>



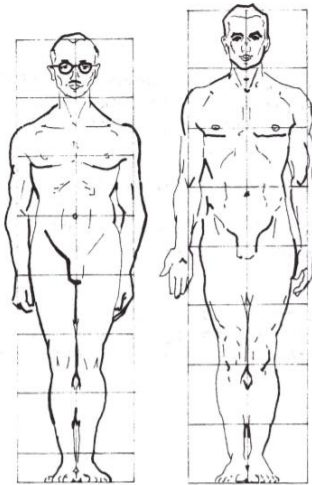
#### 6.1.8. Canon de la figura humana

A través de la historia de la humanidad, las artes plásticas han mostrado interés en establecer patrones de proporción del cuerpo humano para la creación de esculturas, dibujos o pinturas que se asemejen a la figura humana. Los primeros registros que proponen un canon de la figura humana datan de la antigua Grecia, en la que autores como Policleto, quien desarrolló un tratado llamado *Canon*, en él postula un canon de entre siete y siete cabezas y media, para la proporción ideal del cuerpo humano respecto a otros miembros (Moreno, 1991). La figura 8 ilustra acerca del canon de la figura humana.

---

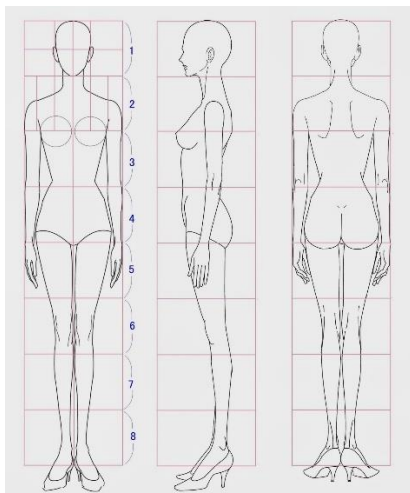
**10 Fuente:** <https://www.fda.gov/media/83626/download>

**Figura 8.** *Canon de la figura humana (Moreno, 1991).*



Se entiende por 'canon' la regla que determina las proporciones de la figura humana en comparación a una medida base llamada 'módulo'. Desde el renacimiento hasta nuestros días, se tiene como medida módulo la cabeza. (Moreno, 1991). Hoy en día, el canon sigue siendo utilizado en el arte pero se ha extendido a otras disciplinas como la arquitectura y el diseño de modas; este último, utiliza un canon de ocho cabezas, asemejándose a un canon de proporción ideal o heroica (ver figura 9).

**Figura 9.** *Canon de la figura humana en diseño de modas.<sup>11</sup>*



---

**11 Fuente:** <https://www.dsigno.es/blog/wp-content/uploads/2017/01/figurines1.jpg>



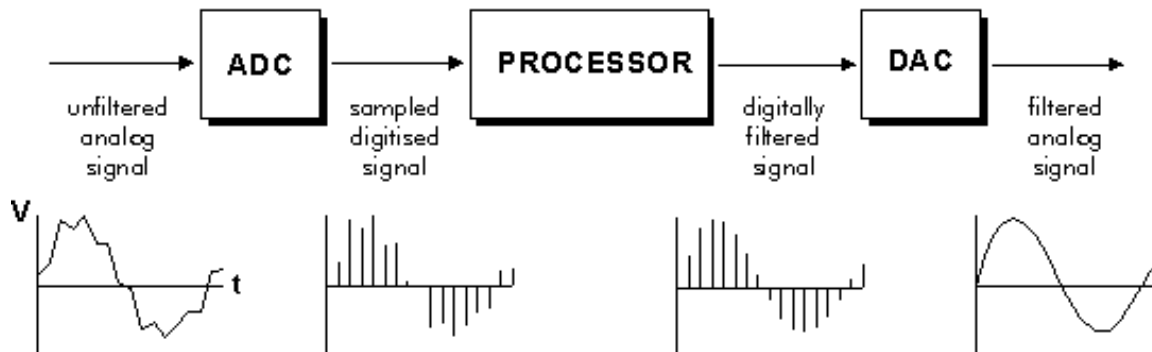
## 6.2. Procesamiento digital de señales

El tratamiento digital de señales ha crecido de manera significativa en los últimos 40 años, gracias a los avances en la construcción de computadoras y circuitos integrados que facilitan la realización de tareas que serían muy costosas o complejas, mediante dispositivos que procesan las señales de manera analógica (Proakis, 2007). Esta técnica consiste en el análisis matemático de las señales de información analógicas, las cuales son modificadas con el fin de obtener algún fin en particular.

### 6.2.2. Filtros digitales

Los filtros digitales son sistemas o algoritmos que ejecutan procesamientos matemáticos sobre señales, según las variaciones de señales de entrada en tiempo y amplitud; generalmente, los filtros digitales tienen como entrada y salida una señal analógica o digital que, luego de realizarle el procesamiento y dependiendo el filtro elegido, puede cambiar su amplitud, frecuencia o fase. Cabe mencionar que, los filtros digitales hacen parte del procesamiento de una señal digital (ver figura 10).

**Figura 10.** Filtro digital<sup>12</sup>

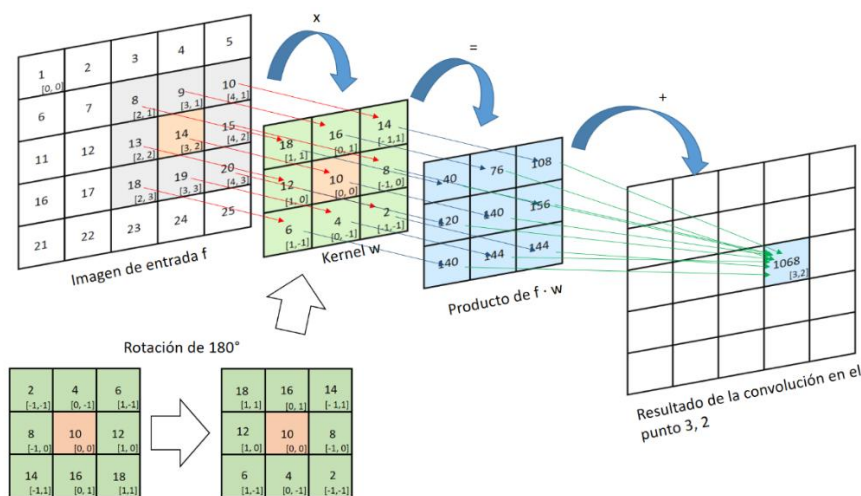


<sup>12</sup> Fuente: <https://www.studio-22.com/pub/media/wysiwyg/enciclopedia/dspsystem.gif>

### 6.2.3. Máscaras de convolución

Las máscaras de convolución, también conocidas como filtros especiales o matrices de convolución, son “procesamientos matemáticos que se aplican sobre los píxeles de una imagen con el fin de resaltar ciertos tipos de relaciones. [...] Son ventanas con valores dados por el tipo de relación espacial que se quiere resaltar”, (Vargas & Arias, 2001). En esta vía, esta técnica mejora o modifica imágenes con el fin de, en algunos casos, destacar patrones o rasgos de las piezas visuales. Entre las operaciones para el procesamiento de imágenes con filtrado está el suavizado, la definición de bordes y nitidez (ver figura 11).

**Figura 11.** Máscara de convolución a una imagen<sup>13</sup>



### 6.3. Visión por computador

La visión por computador o visión de máquina es conocida como un campo de las ciencias computacionales, el cual, mediante la utilización de técnicas adecuadas, permite la obtención, procesamiento y análisis de cualquier tipo de información captada a través de imágenes digitales.

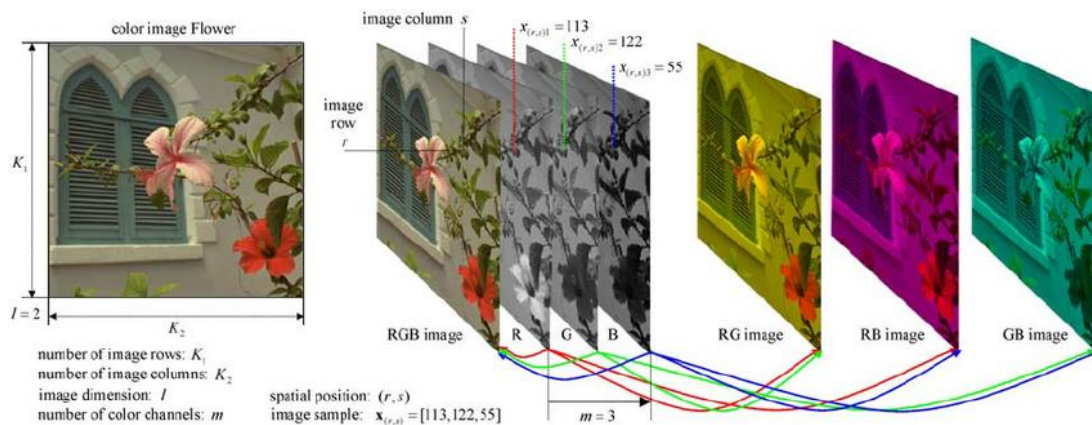
<sup>13</sup> Fuente: <https://bryanmed.github.io/images/conv2d3.PNG>

### 6.3.1. Imagen RGB

Una imagen puede ser considerada como la representación en discreto de espacio e intensidad (Solomon, 2011). Así mismo, puede ser tratada como una señal digital bidimensional en los casos que se pueda necesitar.

Una imagen RGB o *true-color* puede verse como una matriz tridimensional, en la que se asignan tres valores numéricos, uno para cada canal de imagen: rojo, azul y verde, o en inglés por su sigla: *Red*, *Green*, *Blue*. También, puede considerarse como un conjunto de tres planos bidimensionales con igual número de filas y columnas (Solomon, 2011); tal como se ilustra en la figura 12.

Figura 12. Composición de imagen RGB.<sup>14</sup>



### 6.3.2. Imagen de profundidad

La imagen de profundidad es comprendida como el arreglo bidimensional que contiene la información de las distancias, desde un sensor infrarrojo hacia los objetos que están presentes en la imagen. De igual

<sup>14</sup> Imagen tomada de: <https://www.researchgate.net/profile/Konstantinos-Plataniotis/publication/253269938/figure/fig1/AS:298149273980930@1448095734706/Color-image-representation-in-the-RGB-color-domain.png>

manera, las imágenes de profundidad pueden contener tonalidades en escala de grises, según su profundidad o pseudocolor (ver figura 13).

**Figura 13.** *Captura de imagen en escala de grises.*<sup>15</sup>



### 6.3.3. Sistema de visión por computador

Para que un sistema de procesamiento de imágenes sea funcional y cumpla con su propósito, debe contar con dispositivos para recepción de información, como por ejemplo un *sensor de imágenes* que capta las escenas del mundo real y las entrega, a través de señales digitales bidimensionales. Generalmente, suelen utilizarse cámaras digitales o sensores infrarrojos para este propósito.

Una vez recibida la información digital, un *hardware especializado en el procesamiento de imágenes* que se encargan de realizar operaciones a la señal recibida. Por ejemplo, una Unidad Lógica Aritmética (ALU) puede realizar operaciones lógicas a las imágenes captadas por una cámara digital. (González, 2008).

Un *computador* es un equipo de propósitos generales, puede ser un computador portátil con características básicas de *hardware* o una súper computadora. En este dispositivo se puede contener el *almacenamiento masivo de información* de manera temporal, aunque este almacenamiento se puede tener en servidores de internet. (González, 2008)

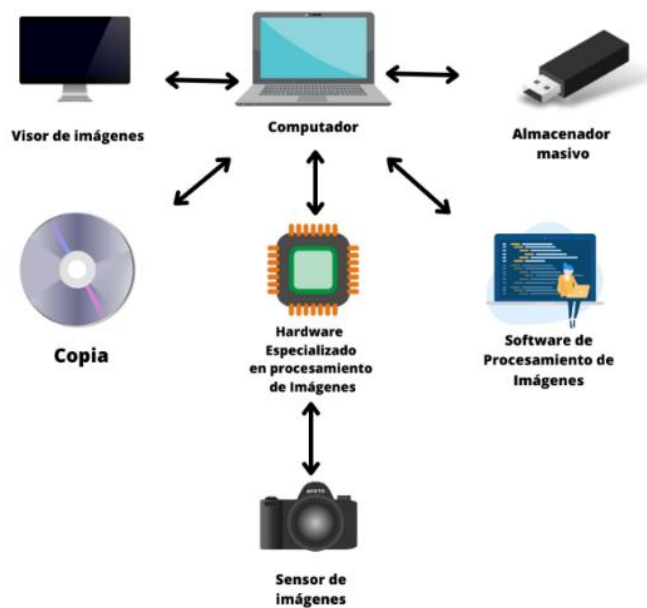
---

<sup>15</sup> Imagen tomada de: <https://techcommunity.microsoft.com/t5/image/serverpage/image-id/94355i1D89220EA47EC74B>

Cuando se realizan proyectos de procesamiento de imágenes, es necesario contar con un *software especializado en procesamiento de imágenes* (González, 2008). Actualmente, existen librerías y lenguajes de programación que facilitan el desarrollo de tecnologías para la solución de problemas relacionados con la visión de máquina (ver figura 14).

Por otra parte, para visualizar las imágenes procesadas se requiere de un *visor de imágenes*, que es una pantalla con características modernas como por ejemplo los dispositivos LED o los monitores. A su vez, cuando se desarrollan estos proyectos, es importante realizar un *copiado*, que exporte los resultados y facilite la presentación de estos mismos, (González, 2008).

Figura 14. Componentes de sistema de procesamiento de imágenes.



## 6.4. Sistemas de clasificación

### 6.4.1. Regresión lineal

Esta es una técnica de modelado estadístico cuyo fin consiste en describir una variable de respuesta continua como una función de una o varias variables predictoras. En otras palabras, se centra en aproximar la relación entre una variable dependiente y variables independientes.

Las regresiones lineales son útiles para analizar, comprender y estimar el comportamiento de sistemas complejos y de datos experimentales. La ecuación general de un modelo de regresión lineal es:

$$Y = \beta_0 + \sum \beta_i X_i + \varepsilon_i \quad (1)$$

Siendo  $\beta$  la representación de las estimaciones de parámetros lineales que se deben calcular y  $\varepsilon$  los términos de error, (Matlab, 2021).

### 6.4.2. Regresión polinómica

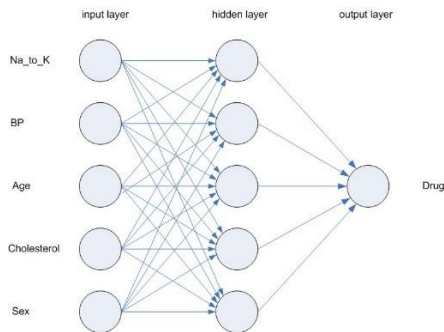
La regresión polinómica es un modelo de análisis de regresión estadístico, similar pero no igual a la regresión lineal, en el que la relación entre la variable independiente y la variable dependiente se estima con un polinomio en  $X$  de  $n$ -ésimo grado. Es decir, es una regresión que toma el modelo lineal y le añade variables dependientes adicionales, obtenidos al elevar las variables dependientes a una potencia.

### 6.4.3. Red neuronal

Las redes neuronales son un modelo computacional que emula la forma en la que el cerebro humano procesa la información, de ahí que esté conformado por un conjunto de unidades llamadas neuronas artificiales. Estas “neuronas” están conectadas entre sí para transmitirse señales de manera simultánea; además, se organizan en capas, lo que les permite captar información, analizarla y arrojar predicciones a partir de los datos estudiados. Así, las redes neuronales procesan información continuamente lo que les permite aprender a través del entrenamiento y registro de cada nuevo dato (Ver figura 15).

**Figura 15.**

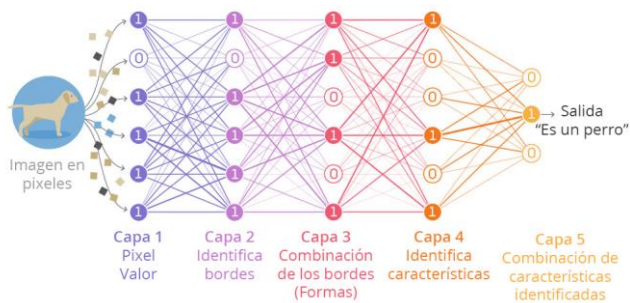
*Estructura de una red neuronal.<sup>16</sup>*



#### 6.4.4. Aprendizaje profundo

El aprendizaje profundo, también conocido como *Deep Learning*, consiste en una serie de algoritmos de aprendizaje automático información que modela abstracciones de alto nivel a partir de datos, usando arquitecturas computacionales de aprendizaje profundo, como las redes neuronales las cuales son aplicadas en áreas como la visión por computador para el reconocimiento automático de señales de audio, música y habla, por ejemplo.

**Figura 16.** Modelo de Deep Learning.<sup>17</sup>



16 (IBM, 2021), SPSS Modeler; El modelo de las redes neuronales. Copyright IBM Corporation 1994. Tomado de: <https://www.ibm.com/docs/es/spss-modeler/SaaS?topic=networks-neural-model>

17 Fuente: <https://www.smartpanel.com/wp-content/uploads/2018/04/deep-learning-proceso.png>

## 6.5. Descriptores estadísticos

### 6.5.1. Precisión

Al hablar de instrumentos de medición, siempre se tendrá una relación entre precisión y exactitud. Estos dos conceptos son esenciales, para evaluar la eficiencia de un instrumento de medición. Precisión, en este contexto, se define por la variación entre una dispersión de medidas; es decir, si hay poca variación entre ellas, se puede afirmar que el instrumento es preciso.

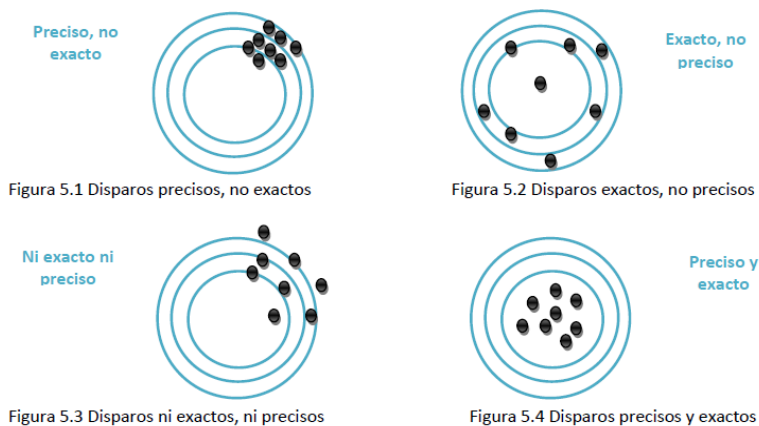
### 6.5.2. Exactitud

A diferencia de la precisión, la exactitud es referida como la cercanía entre una medida estimada y la medida real; si la medición es muy cercana a la real, puede afirmarse que el instrumento es exacto.

Para ilustrar una diferencia entre estos dos términos, se presenta la figura 12.

**Figura 12**

*Ejemplo de precisión y exactitud.*<sup>18</sup>



### 6.5.3. Error cuadrático medio

El error cuadrático medio o como se le conoce común mente como la Raíz de la Desviación Cuadrática Media, la cual es una función estadística que mide el promedio de los errores al cuadrado (la diferencia entre el estimador y lo estimada. Es decir, un cálculo que mide la cantidad de error que existe entre dos

---

<sup>18</sup> Explicación del concepto precisión y exactitud a partir de la ubicación de los disparos en el tablero. Tomado de la Universidad Nacional Autónoma de México.



conjuntos de datos; el ECM es el criterio de evaluación más frecuentemente empleado para resolver problemas de regresión.

La ecuación general para hallar el error cuadrático medio es:

$$ECM = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\hat{Y}_i - Y_i)^2 \quad (2)$$

#### 6.5.4. Promedio

El promedio es un número representativo obtenido a partir de un segmento de cifras; es decir, que es el resultado de sumar un grupo de números y luego dividirlo entre el número de sumandos.

#### 6.5.5. Media y mediana

La media es un concepto matemático que denota el valor promedio de un conjunto de datos y generalmente se calcula como la suma del conjunto de valores numéricos, dividido entre el número total de datos; tal como lo indica la ecuación 3:<sup>19</sup>

$$\frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{N} \quad (3)$$

La mediana es un concepto estadístico que hace referencia al valor central de un conjunto de datos. Es decir, es aquel dato que, al ordenar los números de menor a mayor, se encuentra en medio de ambos y deja la misma cantidad de valores a un lado que a otro.

#### 6.5.6. Desviación estándar

Esta es una herramienta estadística que sugiere información sobre la dispersión media de una variable, la cual siempre es mayor o igual a cero. Esto significa, que la desviación estándar presenta la “cantidad de variación en una característica de proceso medida; específicamente, calcula cuánto se espera que una medición individual se desvíe de la media en promedio”, (SPC, 2021).

---

<sup>19</sup> En este caso, ‘X’ es el valor de la observación i, y ‘N’ el número total de observaciones.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_i^N (X_i - \bar{X})^2}{N}} \quad (4)$$

#### 6.5.7. Varianza

Varianza es una medida de dispersión de datos, generalmente utilizada en el campo de la economía, cuyo propósito es representar la variabilidad de un conjunto de datos respecto de la media aritmética de estos. La varianza también es interpretada como el valor la probabilidad de que el resultado de un proceso sea diferente al resultado esperado, y se calcula según lo indicado en la ecuación 5.

$$Var(x) = \frac{\sum_1^n (x_i - \bar{X})^2}{n} \quad (5)$$

### 7. Descripción del sistema

El sistema elaborado cuenta con componentes característicos de un sistema de visión por computador que serán revisados a continuación.

#### 7.1. Componentes del sistema

En este apartado, se encuentran descritos todos los elementos utilizados para el funcionamiento del Sistema de valoración antropométrica diseñado en este proyecto para estimar la masa de personas postradas en cama basado en visión por computador; explicando algunas de sus características, propiedades y funcionalidad.

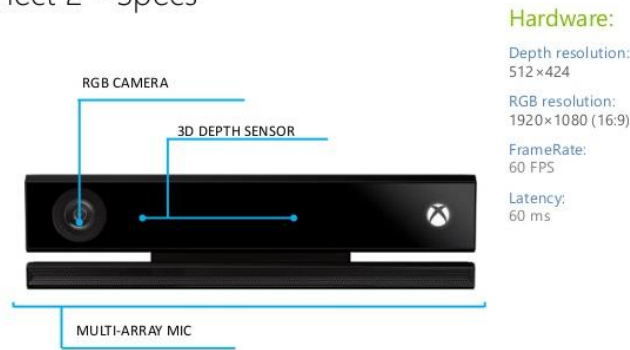
##### 7.1.1. Cámara y sensores

El sensor utilizado en el sistema fue un Kinect Versión 2.0. El Kinect, originalmente conocido como 'Proyecto Natal', fue un desarrollo de *hardware*, creado por Alex Kipman en los laboratorios de la compañía Microsoft en 2010. Sin embargo, fue hasta mayo del 2013 que la compañía anunció el lanzamiento del Kinect 2.0 con un mejor desarrollo, específicamente en su capacidad de resolución: 1080 pixeles.

Una característica especial de este sensor es su composición, pues, cuenta con un sensor emisor y receptor de rayos infrarrojos conocido como cámara de profundidad, una cámara de color RGB, un arreglo de micrófonos y un servomotor, creado para controlar la inclinación del sensor.

Figura 17. El sensor Kinect 2 de consola la XBOX 360 de Windows.20

### Kinect 2 - Specs



#### 7.1.2. Computador

El computador utilizado para el procesamiento de imágenes fue un *Hewlett-Packard Pavilion Gaming Laptop*, que cuenta con procesador *Intel Core i5* de octava generación y una tarjeta gráfica *Nvidia Geforce GTX 1050*, lo cual facilita el procesamiento de datos de las imágenes capturadas.

Así mismo, en el computador se encuentran integrados: el visor de imágenes, con una pantalla led de 16 pulgadas; la memoria de almacenamiento, con un disco duro con capacidad de un terabyte, y la programación de un *software* de procesamiento de imágenes.

---

20 (Andromina, 2017). Robot, encoders y Kinect. Andromina robot V.2.0. Recuperado en octubre de 2021, de: <http://androminarobot.blogspot.com/2017/03/robot-encoders-y-kinect-el-nuevo-diseno.html>

Figura 18. Imagen del computador portátil utilizado en el ejercicio académico. 21



#### 7.1.3. Software de procesamiento de señales

Se desarrolló un *software* de procesamiento de señales utilizando el entorno de programación de Matlab. El *software* desarrollado ejecuta algoritmos para binarizar y segmentar imágenes y obtener características específicas de las regiones de interés para la estimación de la masa corporal del paciente.

#### 7.1.4. Interfaz de usuario

La interfaz de usuario fue diseñada de tal manera que únicamente fuese seleccionado el sexo del paciente, a fin de realizar la estimación de sus características antropométricas. Se ubicaron alrededor de un recuadro las medidas que involucran una toma directa de los datos, estos son: la envergadura, estatura y circunferencia de cintura, de bíceps y pantorrilla. Posterior a ello, mediante la pulsación de un botón cuyo contenido dice “Estimar”, se activan los métodos que realizan estimación de las medidas que amplían la información acerca del usuario.

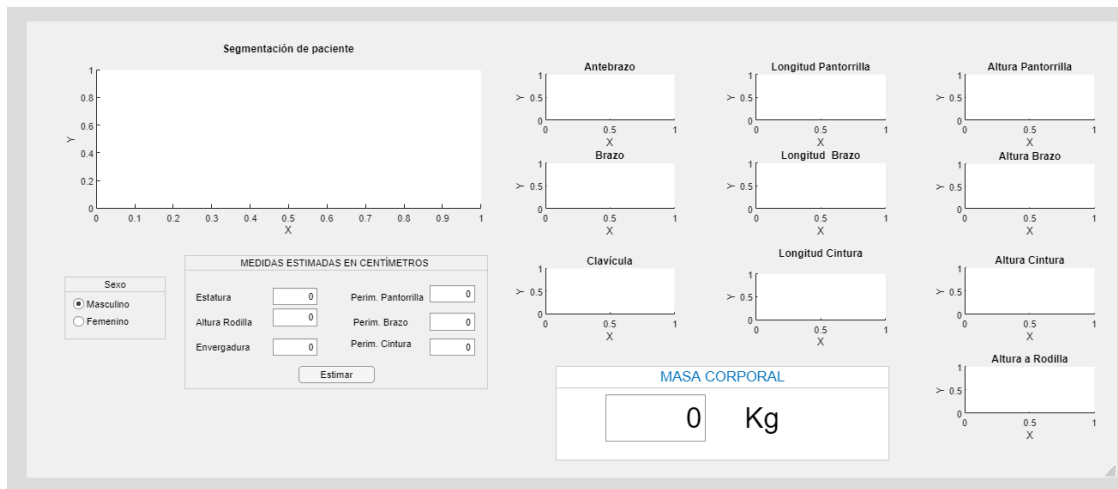
Por otra parte, se insertaron gráficas que indican los fragmentos de la imagen, utilizadas para estimar las medidas, a fin de hacer más intuitiva la información que entrega el *software* al usuario. La interfaz de usuario sin prueba experimental se puede observar en la Figura 18. Presentada a continuación. Así

---

21 La tecnología de este computador portátil, de múltiples núcleos, está diseñado para mejorar el rendimiento del software para el procesamiento de imágenes. HP, (2021). *Laptop HP Pavilion Gaming*. HP. Recuperado de: <https://www.hp.com/pe-es/shop/laptop-hp-pavilion-gaming-15-dk1021la-2b1211a.html>

mismo, se añaden imágenes de las estimaciones realizadas en la sección de anexos, donde se observa la interfaz de usuario en funcionamiento.

**Figura 19.** *Interfaz de usuario sin prueba experimental.*<sup>22</sup>



## 7.2. Prototipo de estructura

La elaboración del prototipo de estructura se diseñó teniendo en cuenta dos etapas, diseño y construcción. Así mismo, se mencionan los materiales utilizados en el proceso de prototipado. De igual manera, se requiere conocer las necesidades y limitaciones que se dan para la construcción del prototipo, tales como el peso del Kinect y la altura que debe alcanzar.

### 7.2.1. Diseño

La estructura se diseñó con la intención de que fuese armable; por lo tanto, se diseñó pensando en módulos cilíndricos de 30 centímetros de largo, y al unirlos diésen como resultado la figura 20 presentada a continuación.

**Figura 20.** Modelado de la estructura



La figura tiene 120 centímetros de largo, 60 centímetros de ancho; así como 210 centímetros de altura, lo que facilita la colocación en el brazo diseñado para sostener el sensor. A su vez la estructura cuenta con dos tensores de 67 centímetros, para estabilizarla. La información gráfica con más detalles se encuentra en el anexo 1 del documento.

#### 7.2.2. Estructura

La estructura construida fue elaborada con tubos de PVC de una pulgada de calibre. Se requirieron de tres uniones tipo codo; cuatro del tipo T y nueve del tipo simple. El Kinect fue anclado con un tornillo un cuarto de pulgada y una tuerca del mismo calibre. La figura 21 a continuación ilustra respecto a la estructura construida.

*Figura 21 estructura construida*



### 7.3. Delimitación del escenario

Se estableció un escenario controlado, de acuerdo con el criterio de la metodología experimental, para la estimación de los usuarios, ya que de esa manera se puede garantizar una mejor segmentación de imagen, para el procesamiento de esta. En ese sentido se tuvo en cuenta condiciones como la iluminación, la altura del sensor, altura de la cama, textura y color de las superficies como se evidencia a continuación.

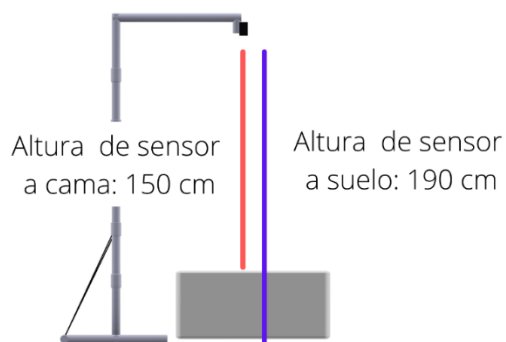
#### 7.3.1. Condiciones de iluminación

Las condiciones en las que se estimó el peso fueron bajo luz artificial en un entorno controlado de 0 acceso de luz natural. La iluminación artificial: bombillo Phillips, Essential LED, 4.5 W, 110-130V – 50/60Hz, es propia de la iluminación del lugar que se adecuó para la estimación. Por lo tanto, la ubicación de la luz tiene una orientación en sentido vertical, en dirección del techo hacia el suelo.

### 7.3.2. Altura del sensor

En el escenario controlado, se tuvo en cuenta la altura que debía tener el sensor, ya que esto incidiría en la captura de la figura humana, tanto en materia de toma de imagen RGB como en profundidad. La altura para el sensor fue de 1.90 metros desde el suelo, para que contara con 1.50 metros desde la superficie más alta de la camilla.

**Figura 22.** *Altura del sensor.*



### 7.3.3. Textura y color de las superficies

Se tuvo en cuenta que la superficie de la cama fuera lisa y de color blanco, ya que, al generar contraste entre los diversos tonos de piel y ropa de colores oscuros, la segmentación de la figura del paciente. En ese sentido, se optó por ubicar un impermeable blanco sobre la base de la camilla, que al mismo tiempo facilitó la implementación de protocolos de bioseguridad durante la jornada de prueba. Las figuras 20 y 21 ilustran sobre el escenario para ejecutar las estimaciones.



**Figura 23.** *Modelado del escenario con iluminación.*



**Figura 21.** *Escenario para funcionamiento del sistema*



## 8. Resultados experimentales

Para obtener los resultados que arroja el sistema, se implementó el *software* desarrollado cuyos procesos y algoritmos se explicarán a continuación:

### 8.1. Segmentación de la figura humana en imagen RGB

El sensor utilizado cuenta con la librería de desarrollo *Kinect SDK 2.0.*, que permite realizar estimación de pose a un usuario. Esta funcionalidad puede ser aplicada para encontrar medidas lineales de un paciente, mediante el análisis matemático de los puntos que se encuentren; sin embargo, presenta limitaciones, como la estimación de pose de una persona, cuando se encuentra muy cerca de una superficie. Por lo tanto, se descartó la aplicación de esta, debido a que la persona está reposada sobre una superficie, que es la camilla.

Para la estimación de la estatura, se realizó un previo recorte de la imagen captada por el sensor, aproximado al largo y ancho de la camilla, pues esto hizo más sencillo el proceso de segmentación de la figura humana, que es la región de interés a obtener en este caso, como se puede ver en las figuras 22 y 23.

$$f(m, n, z) = i(x, y, z) \begin{cases} m, & \text{si } 133 \leq x \leq 965 \\ n, & \text{si } 300 \leq y \leq 1710 \end{cases} \quad (6)$$

**Figura 242.** *Imagen RGB, capturada por Kinect.*



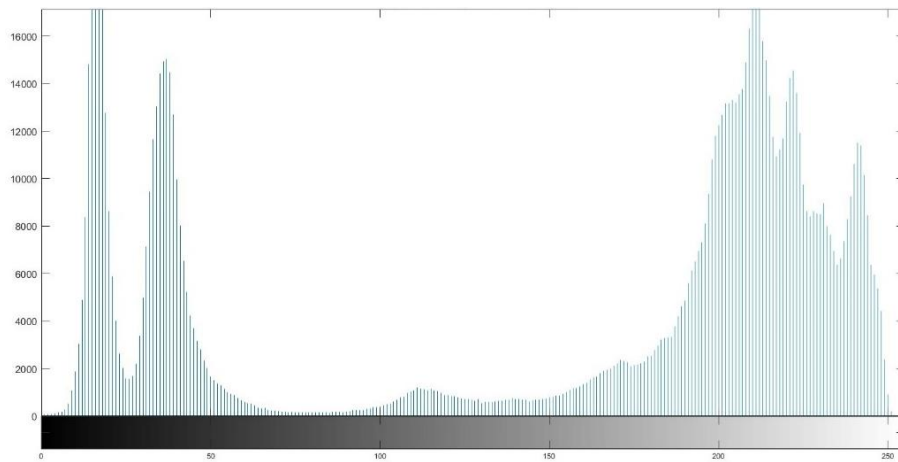
**Figura 23.** *Imagen original, recortada.*



Posterior al recorte, la imagen RGB se invirtió para realizar la conversión a escala de grises y transformarla a imagen binaria. Este proceso requirió la modificación de la imagen original RGB a escala de grises lo cual se realizó mediante el método de luminosidad, que multiplica cada canal por constantes que se definen a través de la longitud de onda de cada color (González, 2008). La ecuación presentada a continuación muestra la transformación de la imagen en las figuras 24 y 25.

$$g(x,y) = 0.2989R + 0.5870G + 0.5870G \quad (7)$$

**Figura 24.** *Histograma de la imagen en escala de grises.*



**Figura 25.** *Imagen invertida en escala de grises.*



Después de hacer la inversión a escala de grises, se binarizó la imagen a través de la utilización de un umbral, que luego filtró la región de mayor tamaño, para así eliminar residuos de píxeles blancos en la imagen procesada.

**Algoritmo 1.** Segmentación de la figura humana en imagen RGB.

---

**ALGORITMO 1: SEGMENTACIÓN DE FIGURA HUMANA EN IMAGEN RGB**

---

**Entradas:**  $g(x,y)$ = Imagen del paciente en escala de grises  
 $i(x,y,z)$ =imagen RGB de paciente.

**Salida:**  $h(x,y)$ =Imagen de paciente segmentada.

- 1:  $A = \begin{cases} 0, & \text{si } g(x,y) < T \\ 1, & \text{si } g(x,y) \geq T \end{cases}$
  - 2:  $A = A \bullet X = \cup \{A_v | A_v \cap X \neq \emptyset\}$
  - 3:  $H = \{A | H \subset A\}$
  - 4:  $B \leftarrow \text{boundingbox de } H$
  - 5:  $h(x,y) = A \times i(x,y) \begin{cases} x = \text{largo de } B \\ y = \text{ancho de } B \end{cases}$
- 

Una vez captada la región de la figura humana, se aplicó la propiedad del rectángulo que encierra la región para realizar un recorte final de las dimensiones de dicha imagen. Las figuras 26, 27 y 28 expresadas a continuación, muestran los resultados del algoritmo.

**Figura 26.** Imagen binarizada con suavizado.



Figura 27. Segmento binarizado con bounding box.

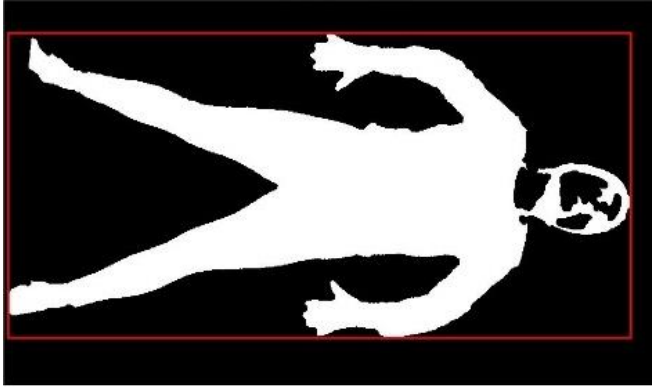
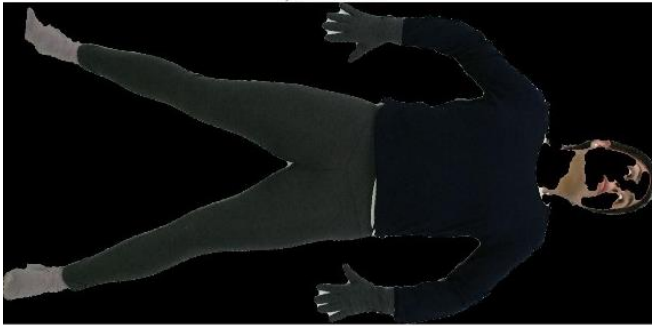


Figura 28. 2D de la figura humana extraída.



## 8.2. Segmentación de la figura humana en imagen de profundidad

Similar a la binarización de la imagen RGB, se estableció un umbral  $T$  en relación con la altura del sensor a la camilla dado en milímetros. Así:

$$d(x, y) = d(x, y) \begin{cases} 0, & \text{si } d(x, y) \geq T \\ 1, & \text{si } d(x, y) < T \end{cases} \quad (8)$$

El siguiente algoritmo muestra los pasos que se siguieron para obtener la región de interés de la figura humana. En este caso y a diferencia de la fase anterior, no fue necesario multiplicar la matriz original de la imagen en profundidad por la binarizada debido a que se procedió a ubicar coordenadas clave en la imagen original a partir de hallar centroides con el fin de identificar datos que favorecieran la aproximación elíptica.

**Algoritmo 2.** Segmentación de figura humana en imagen de profundidad.

---

**ALGORITMO 2: SEGMENTACIÓN DE FIGURA HUMANA EN IMAGEN DE PROFUNDIDAD**

---

**Entradas:**  $d(x,y)$ = Imagen en profundidad del paciente.

**Salida:**  $r(x,y,z)$ =Imagen de paciente segmentada.

- 1:  $D = \begin{cases} 0, & \text{si } d(x,y) < T \\ 1, & \text{si } d(x,y) \geq T \end{cases}$
  - 2:  $D = D \bullet X = \cup \{A_v | A_v \cap X \neq \emptyset\}$
  - 3:  $C = \{D | C \subset D\}$
  - 4:  $R \leftarrow \text{boundingbox de } C$
  - 5:  $R(x,y) = d(x,y) \begin{cases} x = \text{largo de } C \\ y = \text{ancho de } C \end{cases}$
- 

Donde  $T = 1480$  milímetros.

Las figuras 29 y 30 presentadas a continuación muestran los resultados de la binarización.

**Figura 29.** Visualización de imagen en profundidad.



**Figura 30.** Imagen en profundidad binarizada.



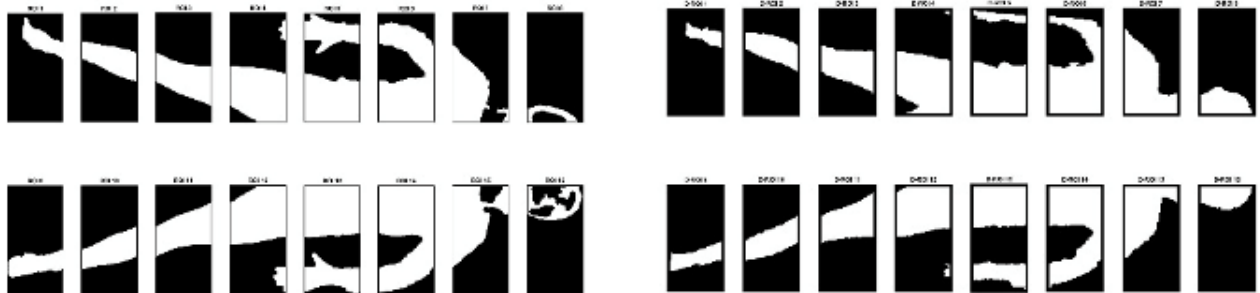
**Figura 31.** *Figura humana binarizada y ajustada a bounding box.*



### 8.3. División de la figura en partes iguales

Una vez recortadas las imágenes de profundidad, se hicieron recortes en diez y seis partes iguales, siguiendo la estructura propuesta por el canon de la figura humana. En este caso se dividió la imagen en octavos del largo de la imagen por la mitad del ancho. Tal como se aprecia en la Figura 32.

**Figura 32.** *Segmentación de la imagen binarizada.*<sup>23</sup>



Esta división de la figura humana permitió de manera más intuitiva obtener las regiones de interés, para estimar medidas lineales y para hacer la aproximación elíptica. Se definirá al conjunto que contiene

<sup>23</sup> A la izquierda se observa la imagen 2D y a su lado, la imagen en profundidad; ambas divididas según el canon de la figura humana.



las dieciséis regiones como  $R_c$  para la imagen binaria que proviene de la imagen a color y como  $R_d$  al conjunto de secciones provenientes de la imagen de profundidad.

$$R_c = \{R_{c1}, R_{c2}, R_{c3}, \dots, R_{c16}\} \quad (9)$$

$$R_d = \{R_{d1}, R_{d2}, R_{d3}, \dots, R_{d16}\}$$

#### 8.4. Estimación de medidas lineales

La estimación de medidas lineales requirió de realizar una conversión de magnitudes en pixeles de la imagen RGB a centímetros. Esta conversión se hizo mediante una regresión polinómica.

En primer lugar, con el sensor ubicado a la altura inicial de 1.50 metros desde la superficie de estimación, se hizo la captura de una imagen digital con distintos objetos sobre la superficie de valoración; luego se estimó el largo en unidades de píxel de cada objeto. La Figura 33 muestra los resultados encontrados.

**Figura 33.** *Identificación de pixeles de objetos en cama.*



Posteriormente, se hizo una comparación entre datos de medidas en pixeles y la medida estimada en centímetros de cada objeto, tomadas con un flexómetro. Esto permitió finalmente establecer polinomios desde el orden uno a orden cinco. Las figuras continuación muestran las curvas de cada regresión.

Figura 25. Regresión de orden 1.

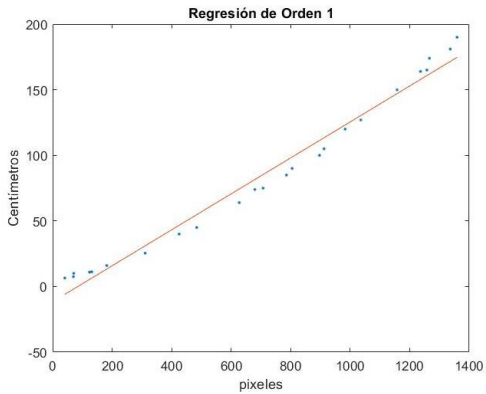


Figura 26. Regresión de orden 2.

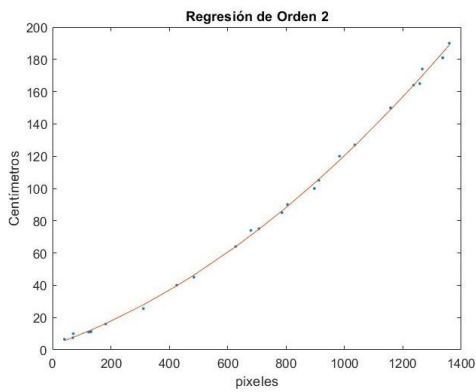
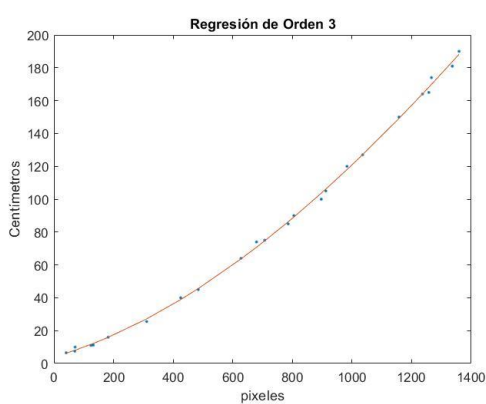
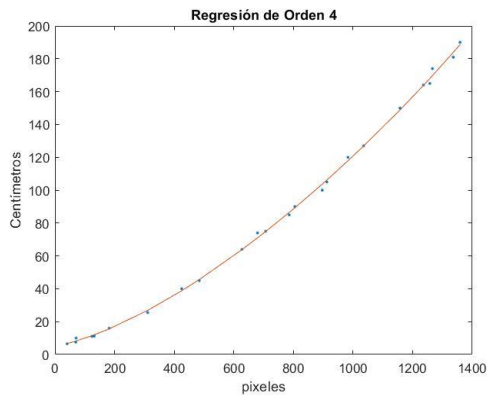


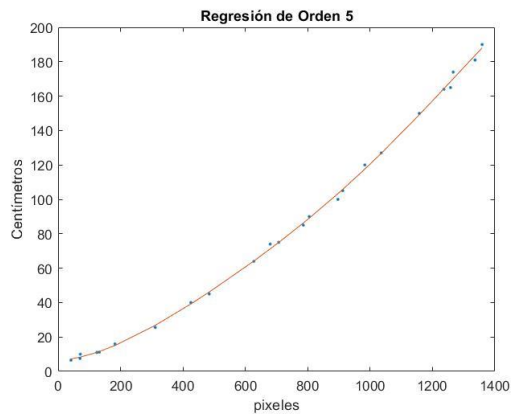
Figura 27. Regresión de orden 3.



**Figura 28.** *Regresión de orden 4.*

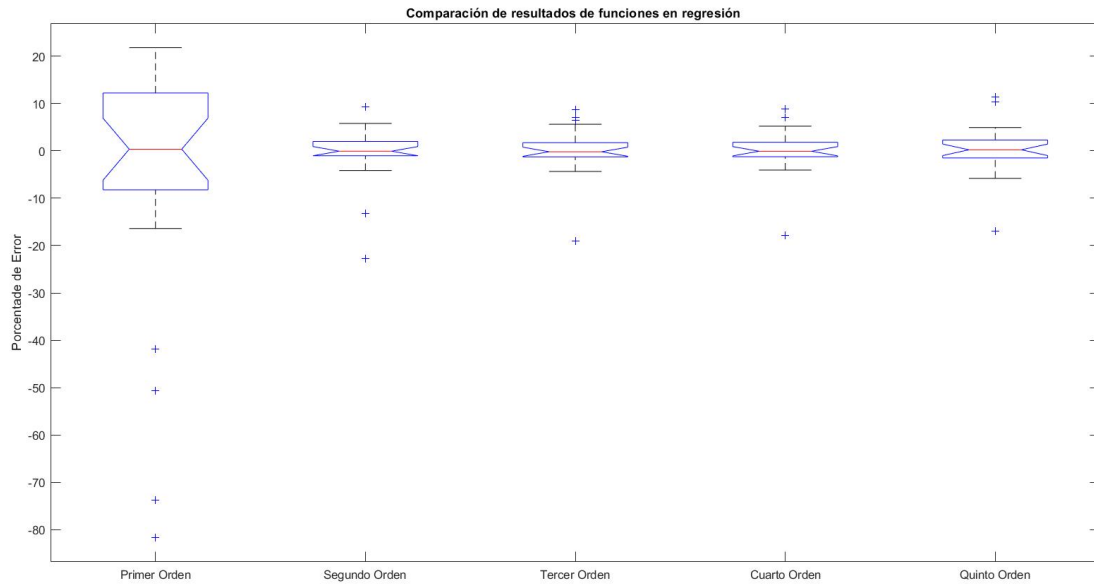


**Figura 29.** *Regresión de orden 5.*



Para seleccionar la mejor ecuación, se tuvo en cuenta que ésta tuviese la mayor cantidad de datos en un menor rango, ya que garantiza una mayor precisión para el sistema. Por otra parte, se consideró que presentara menor cantidad de datos atípicos del sistema. La Figura 38 que se presenta en seguida muestra el diagrama de cajas de cada una de las curvas.

**Figura 30.** Comparación de resultados de funciones de regresión.<sup>24</sup>



Analizando cada una de las cajas con los criterios tenidos en cuenta en el párrafo anterior, se seleccionó una regresión de cuarto orden, cuyo rango se encuentra entre 5.4 % y -4.6 %, con cuatro datos atípicos, que son: 8.6 %, 7.078 %, 6.46 % y -19.072 %.

Por lo tanto, el mejor polinomio hallado para convertir de pixeles a centímetros es el que se presenta a continuación.

$$cm(p) = 9.374 \times 10^{-9}p^3 + 7.402 \times 10^{-5}p^2 + 0.522p + 4.011 \quad (10)$$

Donde  $p$  es la longitud de la región de interés dada en pixeles y  $cm$  será la longitud convertida a centímetros, como resultado de aplicar la ecuación. Esta ecuación es implementada para encontrar características antropométricas del paciente como la estatura.

<sup>24</sup> El diagrama de cajas muestra el comportamiento de cada ecuación y su rango de error.

#### 8.4.1. Estatura

El cálculo de la estatura se realizó mediante la obtención del eje mayor del rectángulo que contiene la figura de la imagen, la cual es entregada en píxeles y es convertida a centímetros mediante la ecuación presentada a continuación.

$$Estatura (cm) = 9.374 \times 10^{-9}x^3 + 7.402 \times 10^{-5}x^2 + 0.522x + 4.011 \quad (11)$$

Donde  $x$  es el largo del rectángulo de la región en píxeles y  $Est$  la estatura del paciente en centímetros, estimada a través de la ecuación.

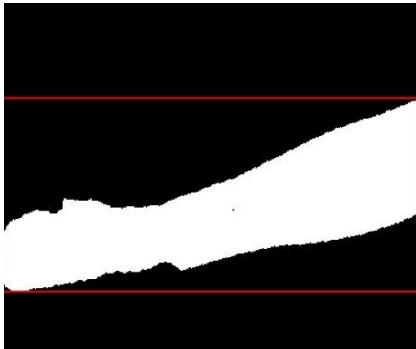
#### 8.4.2. Altura a la rodilla

Puntualmente, para este propósito, se realizó concatenación horizontal de las regiones de interés 1 y 2; se obtuvo el eje mayor de la región de interés, en píxeles, el cual es convertido a centímetros mediante la siguiente ecuación.

$$hrodilla = 9.374 \times 10^{-9}y^3 + 7.402 \times 10^{-5}y^2 + 0.522y + 4.011 \quad (12)$$

En la que  $y$  es el largo en píxeles del rectángulo que contiene la concatenación de las regiones 1 y 2. La figura 39 presenta el resultado del proceso.

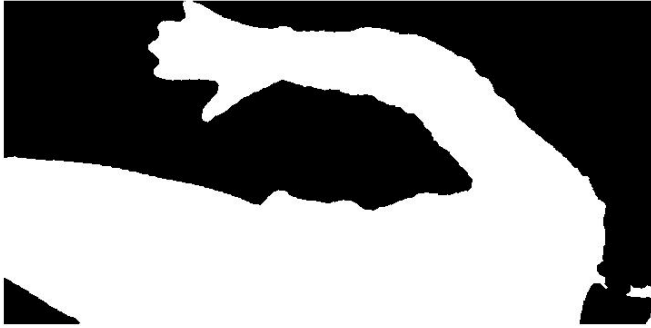
**Figura 31.** Región de altura a la rodilla.



#### 8.4.3. Envergadura

La envergadura se estimó a través de la concatenación de las regiones 4, 5, 6, y 7 de la imagen a color binarizada  $h(x, y)$  y dividida, tal como se muestra en la Figura 40.

**Figura 32.** Concatenación de regiones para obtener la envergadura.



No obstante, para medir de manera más aproximada esta magnitud, se seleccionaron tres subregiones: antebrazo, brazo y del hombro al centro de la clavícula, y de cada una de estas se tomó el eje mayor en pixeles para ser convertidos a centímetros.

Este cálculo permite obtener la brazada que, al multiplicarse por dos, da como resultado la envergadura. El Algoritmo 3. indica el proceso de cálculo de la envergadura.

**Algoritmo 3.** Para obtención del cálculo de la envergadura.

---

**ALGORITMO 3: ESTIMACIÓN DE LA ENVERGADURA**

---

**Entradas:**  $R_c$

**Salida:** Medida de envergadura en centímetros

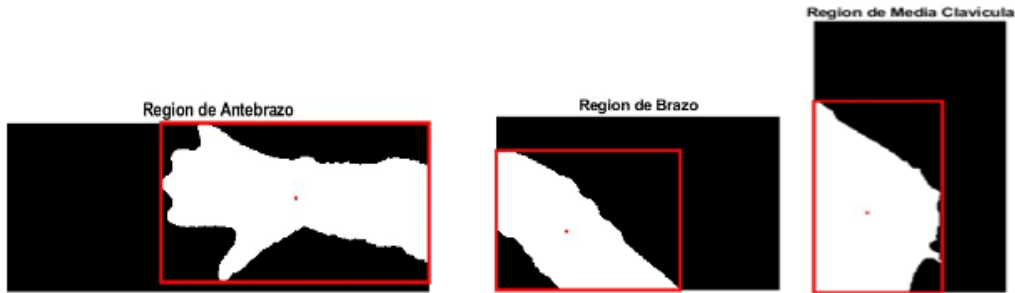
- 1:  $R_{env} = \{R_{c4}, R_{c5}, R_{c6}, R_{c7}\}$
  - 2:  $R_f = \{R_{c4}, R_{c5}\}; R_b = \{R_{c5}, R_{c6}\}; R_{cl} = \{R_{c7}\}$
  - 3:  $b_1 \leftarrow \text{boundingbox de } R_f$
  - 4:  $b_2 \leftarrow \text{boundingbox de } R_b$
  - 5:  $b_3 \leftarrow \text{boundingbox de } R_{cl}$
  - 6:  $l_{p1} = \text{largo de } b_1$
  - 7:  $l_{p2} = \text{largo de } b_2$
  - 8:  $l_{p3} = \text{largo de } b_3$
  - 9:  $E_{pix} = l_{p1} + l_{p2} + l_{p3}$
  - 10:  $Env_{cm} = 9.374 \times 10^{-9} E_{pix}^3 + 7.402 \times 10^{-5} E_{pix}^2 + 0.522 E_{pix} + 4.011$
-

Como lo muestra el algoritmo anterior, la ecuación para hallar la envergadura se da por la suma de los largos de los rectángulos contenedores de cada subregión, para que la magnitud sea convertida a centímetros aplicando la ecuación de tercer orden, de la siguiente manera:

$$Env_{cm} = 9.374 \times 10^{-9} E_{pix}^3 + 7.402 \times 10^{-5} E_{pix}^2 + 0.522 E_{pix} + 4.011 \quad (13)$$

La Figura 41 muestra el resultado del procesamiento de las subregiones.

**Figura 33.** *Procesamiento de subregiones para obtener el valor de la envergadura.*



### 8.5. Estimación de circunferencias

La estimación de circunferencias, también conocidas como perímetros, son de gran importancia en el proceso de valoración propuesto para el sistema, pues estas son requeridas para hacer el cálculo de la masa corporal del paciente. La estimación de los perímetros se hizo a partir de la aproximación elíptica. El Algoritmo 4 muestra el proceso para encontrar el eje mayor de la elipse.

**Algoritmo 4.**

	<b>ALGORITMO 4: ESTIMACIÓN DE EJE MAYOR DE ELIPSE</b>	<i>Estimación</i>
del	<b>Entradas:</b> $R_c; R_d$	<i>eje mayor de</i>
la	<b>Salida:</b> Cálculo de aproximación elíptica en centímetros	<i>elipse.</i>
	1: $n \leftarrow$ número de región	
	2: $b_r \leftarrow$ boundingbox de $R_{c_n}$	
	3: $w_c =$ ancho de $b_r$	
	4: $a_{cm} = \frac{(9.374 \times 10^{-9} W_c^3 + 7.402 \times 10^{-5} W_c^2 + 0.522 W_c + 4.011)}{2}$	

El Algoritmo 5 muestra el procedimiento para hallar el eje menor de la elipse.

**Algoritmo 5.** *Estimación del eje menor de la elipse.*

	<b>ALGORITMO 5: ESTIMACIÓN DE EJE MENOR DE ELIPSE</b>
	<b>Entradas:</b> $d(x, y); R_d$ {imagen en profundidad y sus subregiones}
	<b>Salida:</b> Cálculo de aproximación elíptica en centímetros
	1: $n \leftarrow$ número de región
	2: $c_r(x, y) \leftarrow$ centroide de $R_{d_n}$
	3: $w_d =$ ancho de $R_{d_n}$
	5: $C = c_r([(w_d \times n) + x], y)$
	6: $b_{cm} = \frac{1500 - C}{2 \times 10}$

**8.5.1. Aproximación de longitud elíptica**

Asumiendo que las regiones de interés no son circunferencias completamente, se decidió asumir cada parte en cuestión como elipses. Aunque hay distintas aproximaciones a la longitud de la elipse, por facilidad computacional se utiliza la siguiente aproximación.

$$p \approx 2\pi \left( \frac{\sqrt{a^2 + b^2}}{2} \right) \quad (14)$$



Esta aproximación se empleó para el cálculo de los perímetros de pantorrilla, cintura y brazo. En la que el eje mayor es obtenido desde la región que proviene de la imagen RGB, como del centroide de la figura en volumen y su equivalente en la imagen original.

#### 8.5.2. Circunferencia de pantorrilla

En ese orden de ideas, la circunferencia de la pantorrilla se obtuvo de conocer la magnitud del eje mayor y menor. Por lo tanto, se consiguió, de la región de interés número dos  $Rc_2$  de la imagen RGB binarizada, el equivalente al eje menor del rectángulo que contiene la región de la pantorrilla.

Por otra parte, el eje menor de la pantorrilla se tomó a través del centroide de la región dos  $Rd_2$  de interés de la imagen de profundidad. Para ello se obtuvo el centroide de la región de interés, entendiendo que, respecto a la coordenada Y del centroide, el valor se mantiene, pero recortando la imagen original al tamaño del rectángulo que contiene la región, se evidenció la necesidad de agregar al valor de la coordenada X el ancho de la primera región de interés. Tal como se observa en la Ecuación 15.

$$C = c_r([(w_d \times n) + x], y) \quad (15)$$

Siendo  $n = 1$ , ya que solamente se necesita sumar el ancho de la primera región de interés.

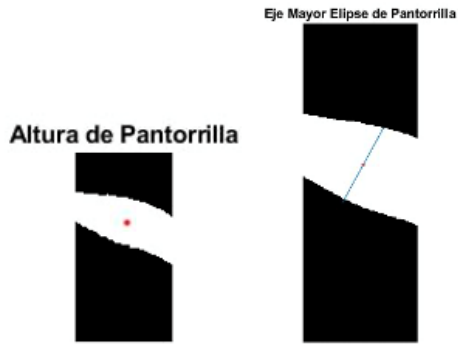
El cálculo del eje menor de la elipse fue realizado mediante la resta entre la máxima distancia del sensor a la camilla y la distancia correspondiente al centroide de la pantorrilla.

Finalmente, la magnitud hallada es convertida a centímetros, para realizar el cálculo correspondiente.

$$b_{cm} = \frac{1500 - C}{2 \times 10} \quad (16)$$

La Figura 42 presenta el proceso realizado.

Figura 34. Altura y eje mayor de la pantorrilla.



La Ecuación 17 definida, para calcular el perímetro de la pantorrilla, mediante aproximación elíptica es la siguiente:

$$CP \approx 2\pi \left( \frac{\sqrt{a_{pantorrilla}^2 + b_{pantorrilla}^2}}{2} \right) \quad (17)$$

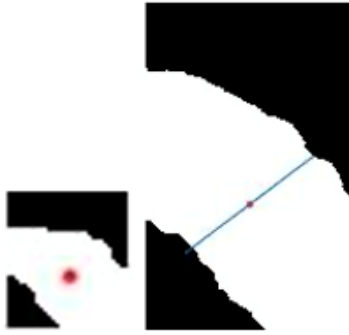
### 8.5.3. Circunferencia de bíceps

Para el caso de la circunferencia de bíceps, se aplicó una metodología similar a la que se utilizó para hallar la circunferencia de la pantorrilla; pero, desde la región que corresponde al brazo, la región número 6.

$$CB \approx 2\pi \left( \frac{\sqrt{a_{brazo}^2 + b_{brazo}^2}}{2} \right) \quad (18)$$

La Figura 43 evidencia el proceso hallado.

**Figura 35.** *Altura y eje mayor del bíceps.*



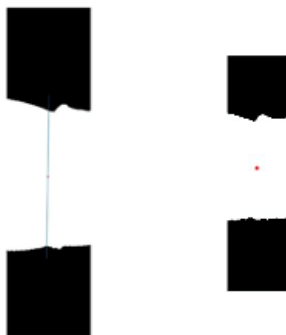
#### 8.5.4. Circunferencia de cintura

Para hallar la circunferencia de la cintura, se utilizó una metodología similar a la anterior, con la diferencia de que se realizó una concatenación de las regiones 5 y 13 de manera vertical. A partir de ese paso, se realizó la conversión del eje mayor de la pantorrilla de pixeles a centímetros y el cálculo del centroide de la región concatenada. La fórmula para hallar la circunferencia de la cintura es la siguiente:

$$CC \approx 2\pi \left( \frac{\sqrt{a_{cintura}^2 + b_{cintura}^2}}{2} \right) \quad (19)$$

La Figura 44 detalla el proceso realizado.

**Figura 36.** *Eje mayor y menor de la cintura.*



### 8.6. Estimación de la masa corporal

La estimación de masa corporal se ha realizado con base en las ecuaciones predictivas de masa corporal y talla (Rabito, 2008), que se basan en la estimación de los perímetros de brazo, cintura y pantorrilla; así cómo tiene en cuenta el sexo del paciente.

$$masa\ corporal\ (kg) = 0.579CB + 0.5263CA + 1.2452CP - 4.8689sexo - 32.9241 \quad (20)$$

El valor de la variable sexo, varía si el paciente es de género masculino, en el que sexo = 1; o si es femenino, entonces sexo = 2.

### 8.7. Diseño de pruebas

Para conocer las características del sistema y su funcionamiento, se hizo un diseño de prueba para garantizar la toma correcta de datos, al momento de estimar. La población con la que se contó en la experimentación fue de 10 personas; asimismo, debido a el momento coyuntural que atraviesa el mundo por la pandemia del Covid-19, se tuvieron en cuenta protocolos de bioseguridad.

#### 8.7.1. Protocolos para realización de prueba

Los pasos que se siguieron para la estimación de datos fueron los siguientes.

**Paso 0:** Previo a la estimación de los voluntarios, el lugar fue desinfectado con alcohol y se contó con un escenario ventilado. Así mismo, se requirió a los voluntarios el uso de tapabocas durante todo el ejercicio de estimación.

**Paso 1:** Los voluntarios diligenciaron previamente un formulario de síntomas y esquema de vacunación contra la Covid-19, para garantizar que la población se encontrara en buen estado de salud con el fin de evitar riesgos de contagio.

**Paso 2:** Inicialmente, cada voluntario fue estimado con instrumentos tradicionales de medición, como cinta métrica, flexómetro y báscula con el propósito de obtener datos precisos sobre sus magnitudes.

**Paso 3:** Posteriormente, cada voluntario fue estimado por el sistema de valoración antropométrica al estar acostado sobre la camilla.

**Paso 4:** Una vez un participante terminaba este proceso, se retiraba del lugar para dar paso a un nuevo voluntario y empezar el protocolo desde el paso 0.

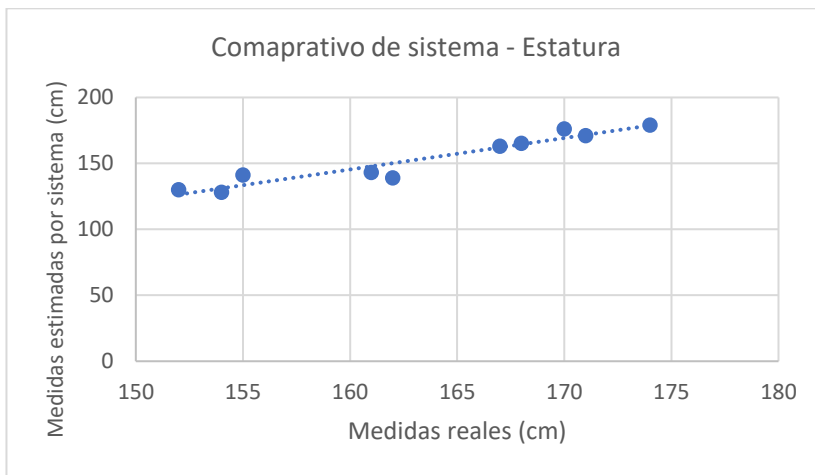
### 8.7.2. Datos estimados

Las siguientes tablas muestran los datos estimados por el sistema de valoración antropométrica en relación con los datos reales, por cada una de las medidas.

**Tabla 1.** Comparativo de estimación de medidas respecto a la *estatura* de los participantes.

Comparativo de resultados - Estatura				
Nombre	Cinta métrica	sistema	Diferencia en cms	% error
Participante 1	154	128	26,0	16,9
Participante 2	155	141	14,0	9,0
Participante 3	162	139	23,0	14,2
Participante 4	167	163	4,0	2,4
Participante 5	170	176	-6,0	-3,5
Participante 6	174	179	-5,0	-2,9
Participante 7	161	143	18,0	11,2
Participante 8	152	130	22,0	14,5
Participante 9	171	171	0,0	0,0
Participante 10	168	165	3	1,8

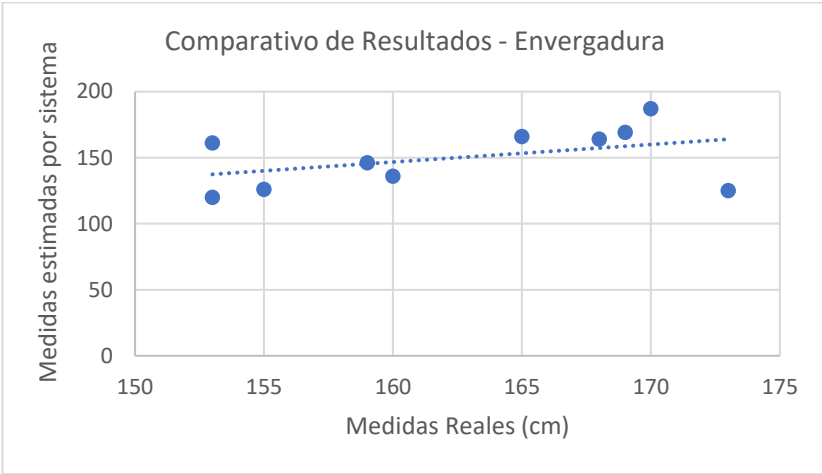
**Figura 37.** Dispersión de puntos entre medidas reales y medidas estimados de estatura.



**Tabla 2.** Comparativo de medidas reales vs. medidas estimadas de envergadura.

Comparativo resultados - Envergadura				
Nombre	Cinta métrica	sistema	Diferencia en cms	% error
Participante 1	153	120	33,0	21,6
Participante 2	155	126	29,0	18,7
Participante 3	160	136	24,0	15,0
Participante 4	165	166	-1,0	-0,6
Participante 5	169	169	0,0	0,0
Participante 6	173	125	48,0	27,7
Participante 7	159	146	13,0	8,2
Participante 8	153	161	-8,0	-5,2
Participante 9	170	187	-17,0	-10,0
Participante 10	168	164	4,0	2,4

**Figura 38.** Dispersión de puntos entre medidas reales y medidas estimadas de la envergadura



**Tabla 3.** Comparativo de medidas reales vs. medidas estimadas de la altura a la rodilla.

Comparativo resultados - Altura de rodilla				
Nombre	Cinta métrica	sistema	Diferencia en cms	% error
Participante 1	44,0	28,1	16	36
Participante 2	45,0	20,4	25	55
Participante 3	47,0	29,5	18	37
Participante 4	50,0	33,4	17	33
Participante 5	49,0	36,2	13	26
Participante 6	51,4	35,7	16	31
Participante 7	50,0	35,9	14	28
Participante 8	46,5	35,1	11	25
Participante 9	53,0	35,3	18	33
Participante 10	51,0	33,1	18	35

Figura 39. Dispersión de puntos entre medidas reales y medidas estimadas de altura a la rodilla.

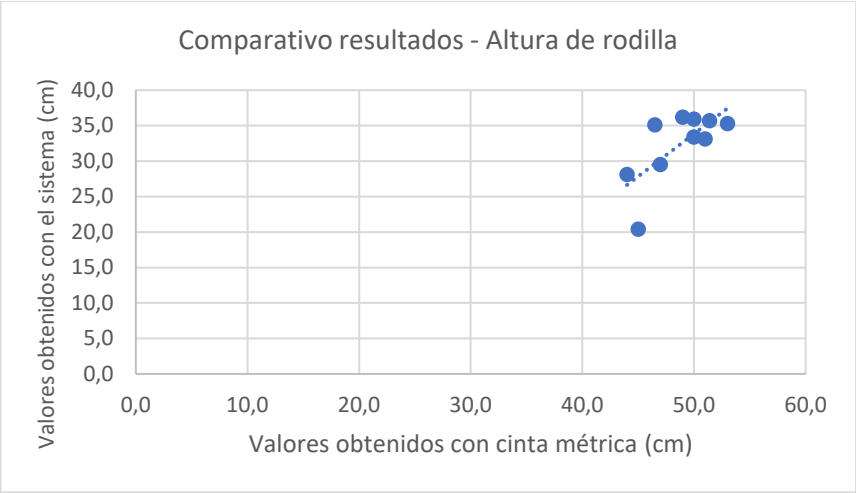
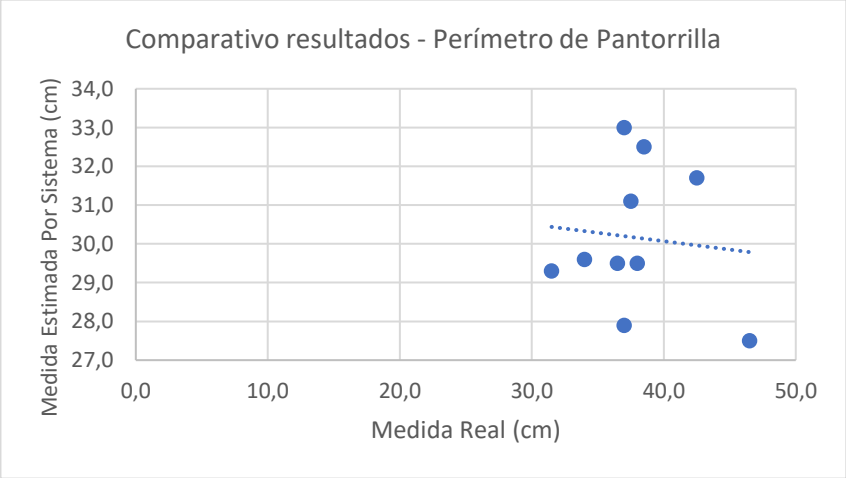


Tabla 4. Comparativo de medidas reales vs. medidas estimadas del perímetro de pantorrilla.

Comparativo resultados - Perímetro de pierna				
Nombre	Cinta métrica	sistema	Diferencia en cms	% error
Participante 1	38,0	29,5	8,5	22,4
Participante 2	37,0	27,9	9,1	24,6
Participante 3	36,5	29,5	7,0	19,2
Participante 4	42,5	31,7	10,8	25,4
Participante 5	38,5	32,5	6,0	15,6
Participante 6	31,5	29,3	2,2	7,0
Participante 7	37,0	33,0	4,0	10,8
Participante 8	46,5	27,5	19,0	40,9
Participante 9	34,0	29,6	4,4	12,9
Participante 10	37,5	31,1	6,4	17,1

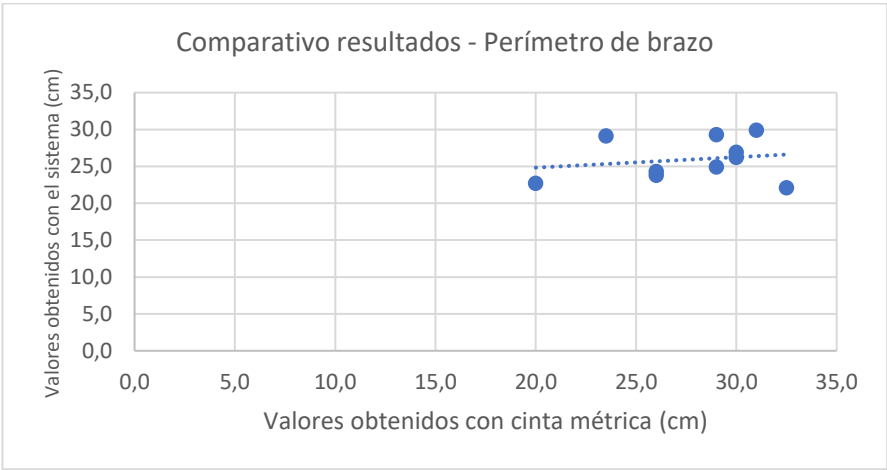
Figura 40. Dispersión de puntos entre medidas reales y medidas estimadas de perímetro de pantorrilla.



**Tabla 5.** Comparativo de medidas reales vs. medidas estimadas del perímetro de bíceps.

Comparativo resultados - Perímetro de brazo				
Nombre	Cinta métrica	sistema	Diferencia en cms	% error
Participante 1	32,5	22,1	10	32,0
Participante 2	30,0	26,2	3,8	12,7
Participante 3	26,0	24,3	1,7	6,5
Participante 4	31,0	29,9	1,1	3,5
Participante 5	29,0	29,3	-0,3	-1,0
Participante 6	20,0	22,7	-2,7	-13,5
Participante 7	26,0	23,8	2,2	8,5
Participante 8	30,0	26,9	3,1	10,3
Participante 9	23,5	29,1	-5,6	-23,8
Participante 10	29,0	24,9	4,1	14,1

**Figura 41.** Dispersión de puntos entre medidas reales y medidas estimadas de perímetro de bíceps.



**Tabla 6.** Comparativo de medidas reales vs. medidas estimadas del perímetro de cintura.

Comparativo resultados - Perímetro de cintura				
Nombre	Cinta métrica	sistema	Diferencia en cms	% error
Participante 1	39,5	77,9	-38	-97
Participante 2	78,0	78,4	0	-1
Participante 3	76,5	73,2	3	4
Participante 4	92,0	107,2	-15	-17
Participante 5	94,0	85,3	9	9
Participante 6	69,0	76,2	-7	-10
Participante 7	84,5	83,5	1	1
Participante 8	100,0	86,0	14	14
Participante 9	76,0	78,2	-2	-3
Participante 10	93,0	78,8	14	15



Figura 42. Dispersión de puntos entre medidas reales y medidas estimadas de perímetro de cintura.

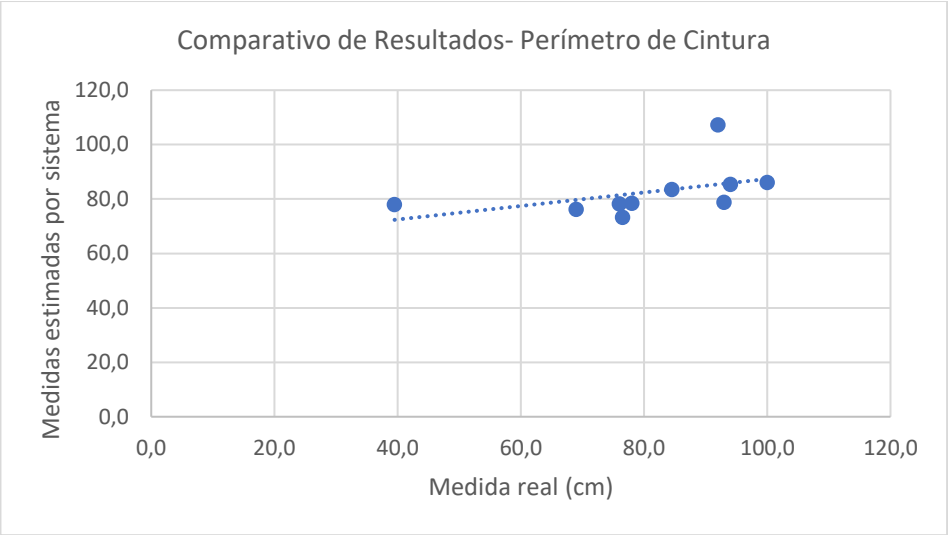
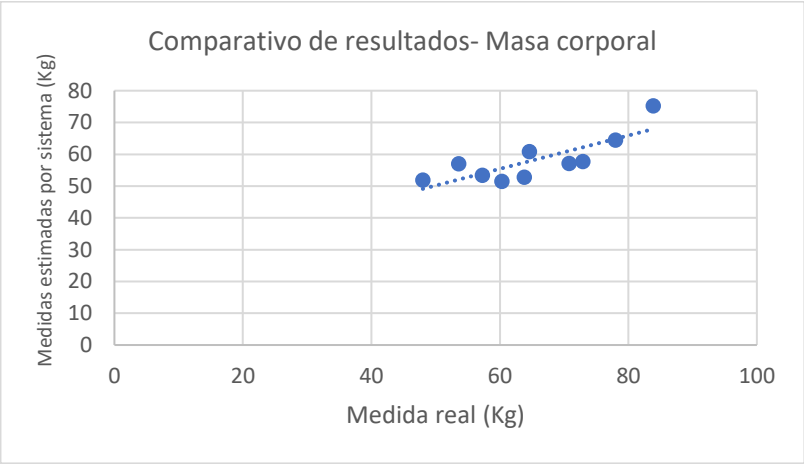


Tabla 7. Comparativo de estimación de masa corporal.

Comparativo de resultados - Masa Corporal				
Nombre	Cinta métrica	sistema	Diferencia en cms	% error
Participante 1	64	53	11	17
Participante 2	57	53	4	7
Participante 3	60	52	9	15
Participante 4	84	75	9	10
Participante 5	78	65	14	17
Participante 6	48	52	-4	-8
Participante 7	65	61	4	6
Participante 8	73	58	15	21
Participante 9	54	57	-3	-6
Participante 10	71	57	14	19

Figura 43. Dispersión de puntos del comparativo de la estimación de masa corporal.



### 8.7.3. Estimación de características del sistema

Para desarrollar la estimación de las características del sistema se abordará el error cuadrático medio, la exactitud y la precisión de este, ya que permitirá analizar los resultados con relación al error en la medida encontrada en la muestra experimental.

#### 8.7.3.1. Error cuadrático medio

Para calcular el error cuadrático medio se tomaron los errores de las medidas en cada magnitud y fueron elevados al cuadrado, su resultado se dividió entre la cantidad de datos tomados que es 10. La Ecuación 21 muestra el uso del error cuadrático medio.

$$ECM = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} (medida\ real - medida\ estimada)^2 \quad (21)$$

La Tabla 8, presentada a continuación, muestra los resultados obtenidos del error cuadrático medio.

**Tabla 8.** Error cuadrático medio en cada magnitud.

<b>Magnitud</b>	<b>ECM (%)</b>
Estatura	58,725
Envergadura	156,206
Altura a la Rodilla	71,316
Perímetro de pantorrilla	91,317
Perímetro de brazo	236,217
Perímetro de cintura	1075,322
Masa Corporal	106,188

#### 8.7.3.2. Exactitud

La exactitud es estimada con base en la desviación estándar del sistema. Para ello, se tomó el error de cada una de las magnitudes medidas a la población. Se utilizó la Ecuación 22, que se calcula como la raíz del error cuadrático medio.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} (medida\ real - medida\ estimada)^2} \quad (22)$$

Aplicando la ecuación, los resultados de exactitud para cada medida se muestran en la Tabla 9.

**Tabla 9.** % de exactitud en cada magnitud.

Magnitud	$\sigma$ (%)
Estatura	7,663
Envergadura	12,498
Altura a la Rodilla	8,445
Perímetro de pantorrilla	9,556
Perímetro de brazo	15,369
Perímetro de cintura	32,792
Masa Corporal	10,305

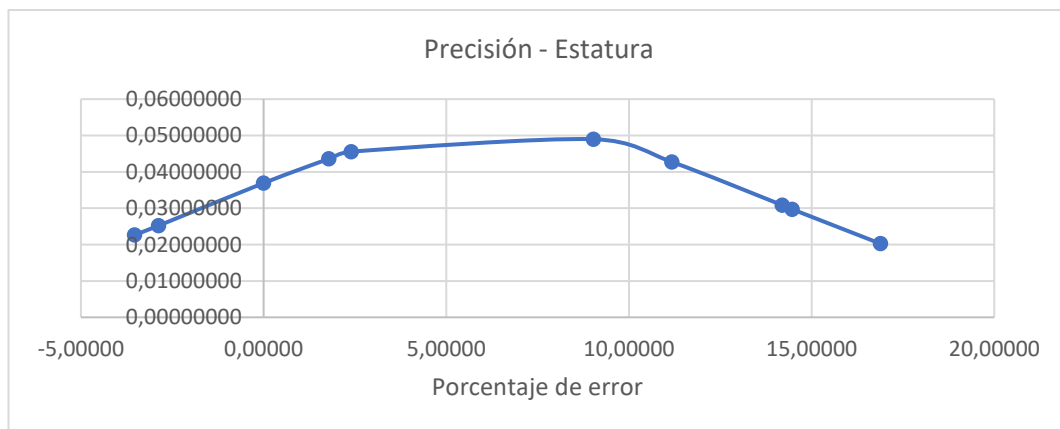
#### 8.7.3.3. Precisión

La estimación de la precisión del sistema se hizo basado en la función Campana de Gauss, utilizando el porcentaje de error de cada medida tomada. De esta manera, es posible analizar el rango de error que tiene el instrumento a partir de la muestra tomada. La ecuación que se aplicó es:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\text{medida real}-\text{medida estimada}}{\sigma}\right)^2} \quad (23)$$

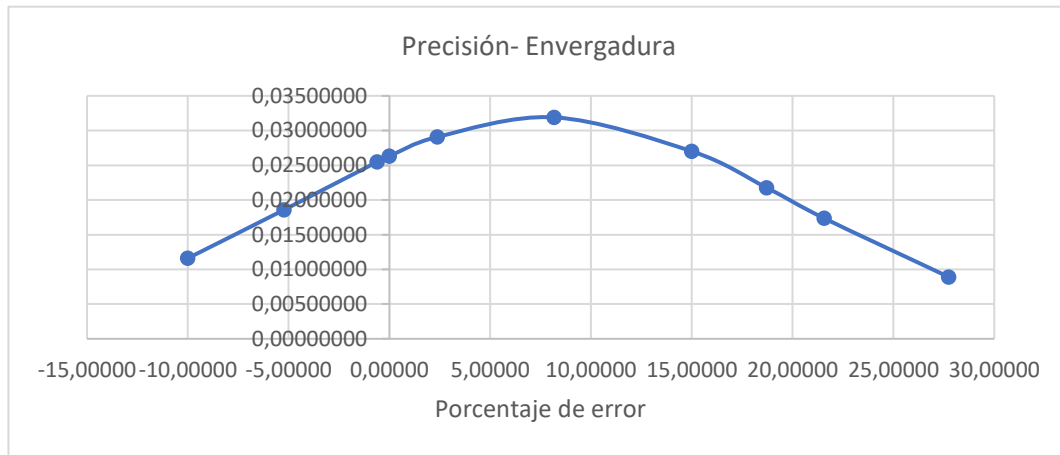
Siendo  $\sigma$  la desviación estándar el sistema, utilizado previamente para conocer la exactitud. La figura 52 ilustra el comportamiento de la estimación de estatura.

**Figura 44.** Curva de precisión de la estatura.



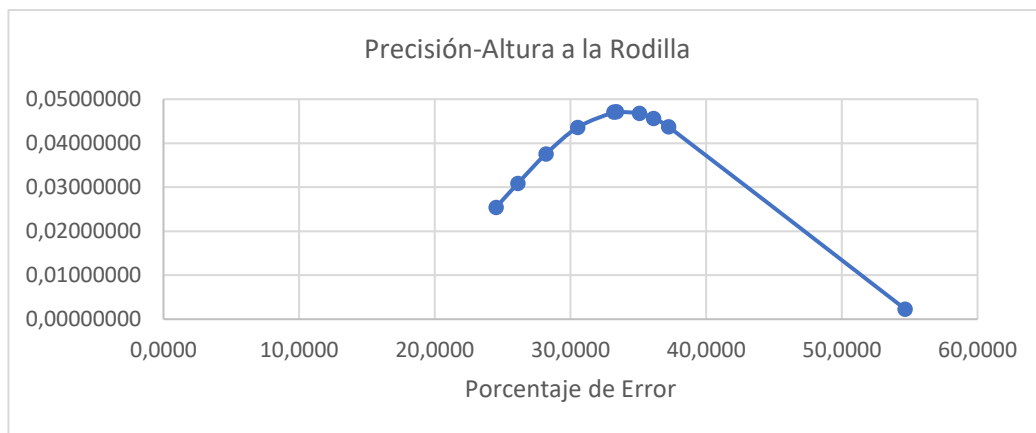
La figura 53 muestra la precisión del sistema para estimar la envergadura.

**Figura 45.** *Curva de precisión de la envergadura.*



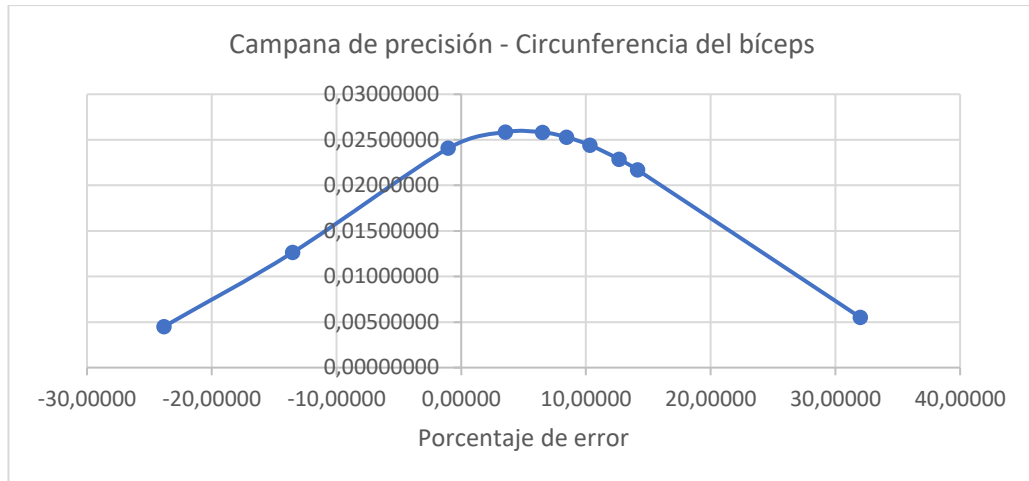
La figura 54 muestra la precisión del sistema para estimar la altura a la rodilla.

**Figura 46.** *Curva de precisión de la altura a la rodilla.*



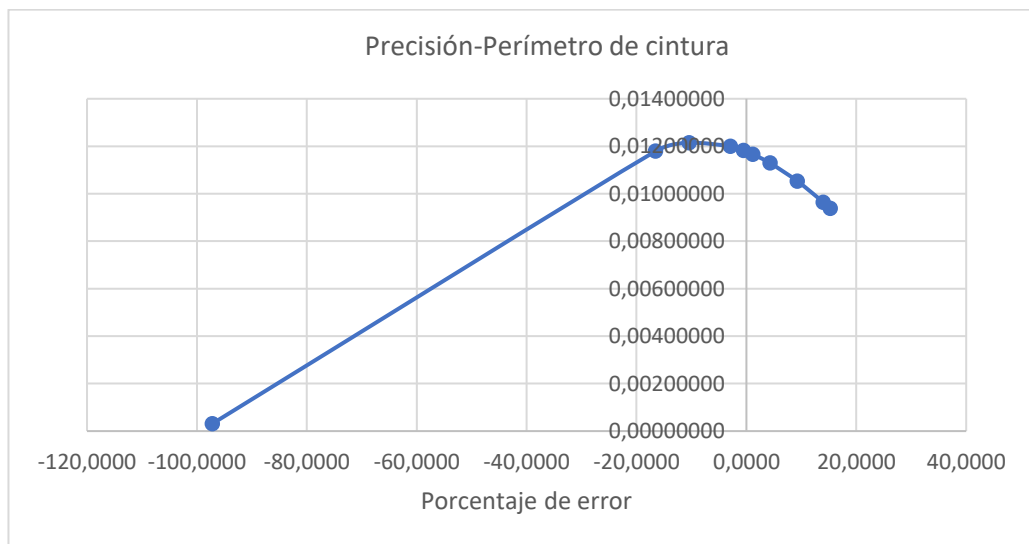
La figura 55 indica la precisión del sistema para estimar el perímetro del bíceps.

**Figura 47.** *Curva de precisión de la circunferencia de bíceps.*



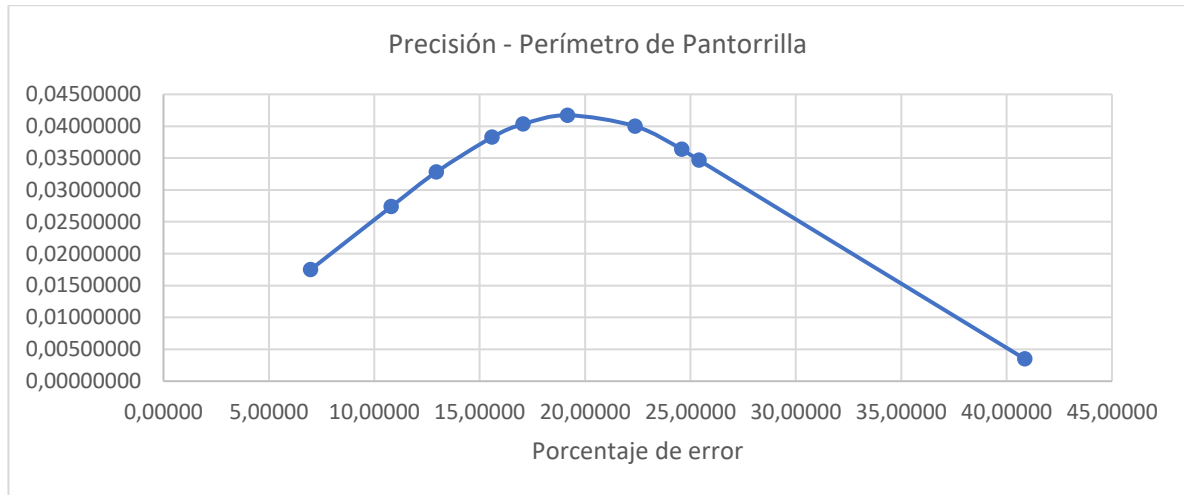
La figura 56 muestra la precisión del sistema para estimar el perímetro de cintura.

**Figura 48.** *Curva de precisión de la circunferencia de la cintura.*



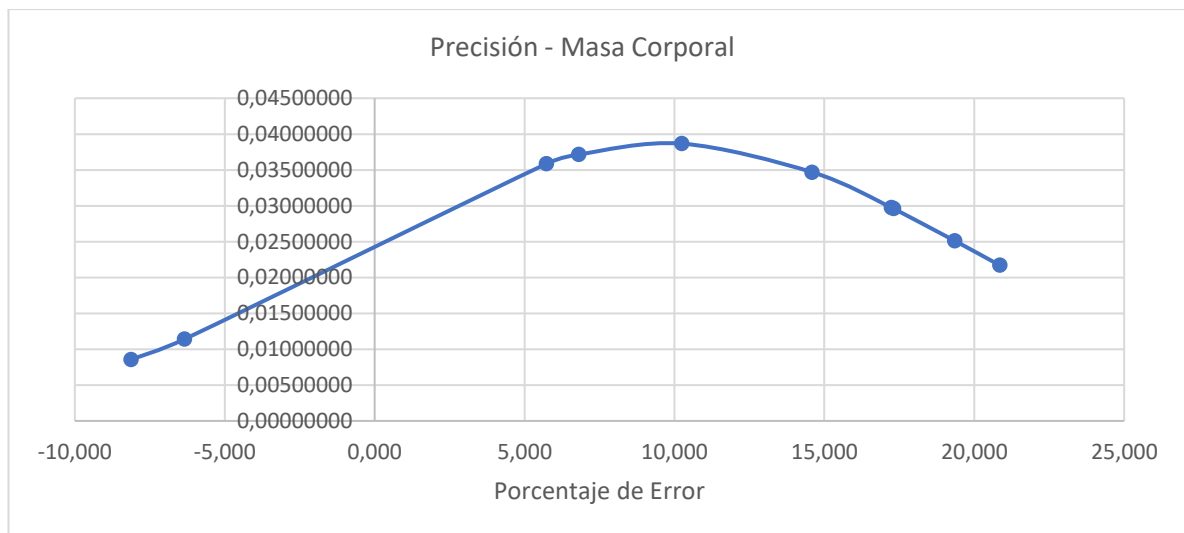
La figura 57 muestra la precisión del sistema para estimar el perímetro de la pantorrilla del paciente.

**Figura 49.** Curva de precisión de la circunferencia de pantorrilla.



La figura 58 muestra la precisión del sistema para estimar la masa corporal.

**Figura 50.** Curva de precisión de la masa corporal.



## 8.8. Discusión y análisis de resultados

De las medidas valoradas por el instrumento se considera que la estimación más exacta del sistema es la estatura, con una desviación estándar  $\sigma = 7.663 \%$  y a su vez el más preciso con error en un rango de  $-3.5 \%$  a  $16.9 \%$ . Esto se puede deber a la similitud de la posición en la que fueron tomados los datos para la regresión polinómica.

Así mismo, de las medidas utilizadas para estimar la masa corporal, se puede evidenciar que la valoración con mayor desviación estándar es el perímetro de cintura, con un  $\sigma = 32.792\%$  lo que implicaría un error acumulativo para estimar la masa. Esto, debido a que es el perímetro de mayores proporciones, respecto a las circunferencias de pantorrilla y brazo, que a su vez cuentan con menor desviación, pues tienen un  $\sigma = 9.556\%$  y  $\sigma = 15.369\%$ , respectivamente.

Por otra parte, al analizar los porcentajes de error en los datos estimados para la cintura, se observa que la medida para el paciente 1 puede ser considerado como un dato atípico, pues su error es de  $-97 \%$ , siendo de una magnitud significativamente mayor que la media que es de  $8.36 \%$ . Al descartar el dato del paciente 1, se observa que una desviación estándar  $\sigma = 10.14\%$

Considerando los datos obtenidos de la muestra, se observa que la desviación estándar para la masa es del  $10 \%$ , y el porcentaje de error está entre el  $-8 \%$  y su máximo se encuentra en el  $19 \%$ . Por lo tanto, se evidencia que la medida de la cintura debe ser más exacta a fin de disminuir la desviación de la masa corporal.

## 9. Conclusiones

Teniendo en cuenta los objetivos planteados en esta investigación, se concluye que fue posible desarrollar un sistema de visión por computador capaz de ejecutar de manera apropiada los algoritmos propuestos, con capacidad de hacer procesamiento de imágenes y cálculos polinomiales, para arrojar resultados de estimación de medidas antropométricas.

El sistema de visión por computador elaborado en este proyecto es una aproximación para brindar soluciones tecnológicas que faciliten la prestación de servicios de calidad en entornos clínicos, con el fin de garantizar eficiencia, eficacia y centralidad en el paciente.

El sistema de valoración antropométrica logra capturar la figura humana de manera correcta, para realizar el análisis computacional de la imagen capturada y estimar la estatura, envergadura, altura a la rodilla, perímetros de pantorrilla, brazo, cintura y masa corporal del usuario.

El sistema de valoración antropométrica requiere de una dispersión de muestra más grande, a fin de realizar correcciones al error; así como la implementación en un grupo de control, para posteriormente definir próximas mejoras que requiera el sistema.

Las técnicas implementadas en el sistema son susceptibles de mejora, ya que existen algoritmos de inteligencia artificial que permiten con mayor exactitud la estimación de la figura humana y su reconocimiento.

El sistema es susceptible de mejoras, para que sea más versátil en escenarios con distintas delimitaciones. Esto se puede lograr utilizando técnicas de inteligencia artificial, como, por ejemplo una



red neuronal que realice estimación de píxeles a centímetros, independientemente de la altura a la que se encuentre el sensor.

A pesar de que el sistema ejecuta el proceso de valoración antropométrica, este se encuentra en una fase inicial, debido a que se pueden explorar técnicas más recientes y avanzadas de procesamiento de imágenes y reconocimiento.

Los escenarios controlados, en este proyecto, fueron favorables para garantizar el funcionamiento del sistema de valoración antropométrica y la ejecución de algoritmos.

Se evidencia desde el análisis de los antecedentes, que este trabajo sugiere formas distintas de hacer valoraciones antropométricas, particularmente en relación con la masa corporal, ya que se estima a través de aplicar ecuaciones parametrizadas para hallar dicha magnitud.

## 10. Recomendaciones

El proyecto requiere de una mayor muestra, para evidenciar con mayor exactitud la varianza y precisión del sistema y hacer ajuste sobre el error. Se recomienda hacer muestras más grandes, a medida que se quieran probar nuevas mejoras al sistema desarrollado.

El proyecto realizado requiere de mejoras en su precisión y exactitud, para poder ser implementado en salas UCI o contextos donde se requiera de gran precisión; por lo tanto, se recomienda utilizar técnicas de inteligencia artificial, para implementar segmentación semántica o estimación de pose.

El instrumento puede mejorar su versatilidad en delimitaciones de escenario, por lo tanto, se recomienda utilizar algoritmos de entrenamiento, para que el sistema mida con un sensor en distintas alturas; así como mejorar la exactitud de sus medidas.

El sistema desarrollado puede mejorar su hardware, como utilizar versiones de cámaras que capturan imágenes RGB y de profundidad más pequeños, así como reemplazar el computador portátil por tarjetas electrónicas que cuenten con procesadores gráficos, con capacidad de ejecutar los algoritmos de manera embebida.

El prototipo de estructura puede mejorarse con materiales de calidad industrial, que tengan la capacidad de resistir el trabajo que requeriría un sistema como el planteado en escenarios no controlados.

## 11. Referencias

- antropometría | Definición | Diccionario de la lengua española | RAE - ASALE*. (n.d.). Retrieved September 5, 2021, from <https://dle.rae.es/antropometría>
- Cannon, C. P. (2000). Thrombolysis medication errors: benefits of bolus thrombolytic agents. *The American Journal of Cardiology*, 85(8), 17–22. [https://doi.org/10.1016/S0002-9149\(00\)00874-2](https://doi.org/10.1016/S0002-9149(00)00874-2)
- Cook, T. S., Couch, G., Couch, T. J., Kim, W., & Boonn, W. W. (2013a). Using the microsoft kinect for patient size estimation and radiation dose normalization: Proof of concept and initial validation. *Journal of Digital Imaging*, 26(4), 657–662. <https://doi.org/10.1007/s10278-012-9567-2>
- Cook, T. S., Couch, G., Couch, T. J., Kim, W., & Boonn, W. W. (2013b). Using the microsoft kinect for patient size estimation and radiation dose normalization: Proof of concept and initial validation. *Journal of Digital Imaging*, 26(4), 657–662. <https://doi.org/10.1007/s10278-012-9567-2>
- Cubison, T. C. S. (2005). So much for percentage, but what about the weight? *Emerg Med J*, 22, 643–645. <https://doi.org/10.1136/emj.2003.011304>
- Espa, E. (2003). *Diccionario Mosby de Medicina , Enfermería y Ciencias de la Salud , 6ª ed . Códex del Laboratorio Clínico . Indicaciones e interpretación de los exámenes de laboratorio*. 1(2), 149–150. [https://books.google.com/books/about/Diccionario\\_Mosby.html?hl=es&id=coYUp744m5kC](https://books.google.com/books/about/Diccionario_Mosby.html?hl=es&id=coYUp744m5kC)
- Fitriyah, H., & Edhi Setyaw, G. (2018a). Automatic Estimation of Human Weight From Body Silhouette Using Multiple Linear Regression. *Proceeding of the Electrical Engineering Computer Science and Informatics*, 5(5). <https://doi.org/10.11591/eecsi.v5i5.1688>
- Fitriyah, H., & Edhi Setyaw, G. (2018b). Automatic Estimation of Human Weight From Body Silhouette Using Multiple Linear Regression. *Proceeding of the Electrical Engineering Computer Science and Informatics*, 5(5). <https://doi.org/10.11591/eecsi.v5i5.1688>

Forschungsberichte in Robotik, W., Schilling Nüchter, K. A., & Wuerzburg Research Notes, U. (n.d.).

*Christian Pfitzner Band 18 Visual Human Body Weight Estimation with Focus on Clinical Applications*. <https://opus.bibliothek.uni-wuerzburg.de>

Gevers, T., & Smeulders, A. (2016). Foreword. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 9914 LNCS, V. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-46493-0>

Gonzalez, R. C., Woods, R. E., & Masters, B. R. (2009). Digital Image Processing, Third Edition. *Journal of Biomedical Optics*, 14(2), 029901. <https://doi.org/10.1117/1.3115362>

Jiang, M., & Guo, G. (2019a). Body Weight Analysis from Human Body Images. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 14(10), 2676–2688. <https://doi.org/10.1109/TIFS.2019.2904840>

Jiang, M., & Guo, G. (2019b). Body Weight Analysis from Human Body Images. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 14(10), 2676–2688. <https://doi.org/10.1109/TIFS.2019.2904840>

Khan, A. I., & Al-Habsi, S. (2020). Machine Learning in Computer Vision. *Procedia Computer Science*, 167. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.03.355>

Kocabas, M., Athanasiou, N., & Black, M. J. (n.d.). *VIBE: Video Inference for Human Body Pose and Shape Estimation*. <https://github.com/mkocabas/VIBE>

Kocabas, M., Athanasiou, N., & Black, M. J. (2019). VIBE: Video inference for human body pose and shape estimation. *ArXiv*, 5253–5263.

Labati, R. D., Genovese, A., Piuri, V., & Scotti, F. (2012a). Two-view contactless fingerprint acquisition systems: A case study for clay artworks. *BioMS 2012 - 2012 IEEE Workshop on Biometric Measurements and Systems for Security and Medical Applications, Proceedings*, 9–16. <https://doi.org/10.1109/BIOMS.2012.6345775>

- Labati, R. D., Genovese, A., Piuri, V., & Scotti, F. (2012b). Two-view contactless fingerprint acquisition systems: A case study for clay artworks. *BioMS 2012 - 2012 IEEE Workshop on Biometric Measurements and Systems for Security and Medical Applications, Proceedings*, 9–16.  
<https://doi.org/10.1109/BIOMS.2012.6345775>
- Leibe, B., Matas, J., Sebe, N., & Welling, M. (Eds.). (2016). *Computer Vision – ECCV 2016* (Vol. 9906). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-46475-6>
- Lifshitz, I., Fetaya, E., & Ullman, S. (2016). Human pose estimation using deep consensus voting. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 9906 LNCS, 246–260. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-46475-6\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-319-46475-6_16)
- Lin, C. B., Dong, Z., Kuan, W. K., & Huang, Y. F. (2021). A framework for fall detection based on openpose skeleton and lstm/gru models. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(1), 1–20.  
<https://doi.org/10.3390/app11010329>
- Liu, Y., Sowmya, A., & Khamis, H. (2018a). Single camera multi-view anthropometric measurement of human height and mid-upper arm circumference using linear regression. *PLoS ONE*, 13(4), 1–22.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0195600>
- Liu, Y., Sowmya, A., & Khamis, H. (2018b). Single camera multi-view anthropometric measurement of human height and mid-upper arm circumference using linear regression. *PLoS ONE*, 13(4).  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0195600>
- Lu, J. M., & Wang, M. J. J. (2008). Automated anthropometric data collection using 3D whole body scanners. *Expert Systems with Applications*, 35(1–2), 407–414.  
<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2007.07.008>
- Madrazo Pérez, M., & Torres Manrique, B. (n.d.). *Gestión de los Servicios en Enfermería*.

Ministerio de salud de Colombia. (2020, June 18). *Se define valores de referencia a pagar por servicios UCI de covid-19*. <https://www.minsalud.gov.co/Paginas/Se-definir-valores-de-referencia-a-pagar-por-servicios-UCI-de-covid-19.aspx>

Paar, A., Rüther, M., Bischof, H., Skrabal, F., Pirker, K., & Pichler, G. (2009). *Human Body Volume Estimation in a Clinical Environment Combyn ECG Segmental Impedance Spectroscopy View project Glucose Monitoring View project Katrin Santner Human Body Volume Estimation in a Clinical Environment*. <https://www.researchgate.net/publication/228541158>

Pfützner, C., May, S., Merkl, C., Breuer, L., Kohrmann, M., Braun, J., Dirauf, F., & Nüchter, A. (2015a). *Libra3D: Body weight estimation for emergency patients in clinical environments with a 3D structured light sensor. Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2015-June(June)*, 2888–2893. <https://doi.org/10.1109/ICRA.2015.7139593>

Pfützner, C., May, S., Merkl, C., Breuer, L., Kohrmann, M., Braun, J., Dirauf, F., & Nüchter, A. (2015b). *Libra3D: Body weight estimation for emergency patients in clinical environments with a 3D structured light sensor. Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2015-June(June)*, 2888–2893. <https://doi.org/10.1109/ICRA.2015.7139593>

Pfützner, C., May, S., & Nüchter, A. (2016). Neural network-based visual body weight estimation for drug dosage finding. *Medical Imaging 2016: Image Processing*, 9784(March), 97841Z. <https://doi.org/10.1117/12.2216042>

Pfützner, C., May, S., & Nüchter, A. (2017). Evaluation of Features from RGB-D Data for Human Body Weight Estimation. *IFAC-PapersOnLine*, 50(1), 10148–10153. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.1761>

Pfützner, C., May, S., & Nüchter, A. (2018a). Body weight estimation for dose-finding and health

monitoring of lying, standing and walking patients based on RGB-D data. *Sensors (Switzerland)*, 18(5). <https://doi.org/10.3390/s18051311>

Pfitzner, C., May, S., & Nüchter, A. (2018b). Body weight estimation for dose-finding and health monitoring of lying, standing and walking patients based on RGB-D data. *Sensors (Switzerland)*, 18(5). <https://doi.org/10.3390/s18051311>

Pirker, K., & Matthias, R. (2009). *Human Body Volume Estimation in a Clinical Environment*. May 2014.

*PROCESO DE PRESTACION DE LOS SERVICIOS SOCIALES ETAPA PARA PRESTAR SERVICIOS SOCIALES*

*INTEGRALES PROCEDIMIENTO DEL SISTEMA DE VIGILANCIA NUTRICIONAL INSTRUCTIVO PARA LA TOMA Y REGISTRO DE MEDIDAS ANTROPOMETRICAS DE LOS ADULTOS Y LAS ADULTAS CON DISCAPACIDAD Y DIFICULTAD PARA ASUMIR LA BIPEDESTACIÓN*. (n.d.). Retrieved September 1, 2021, from [www.integracionsocial.gov.co](http://www.integracionsocial.gov.co)

*Resolución Número 914 De 2020*. (n.d.). [https://www.minsalud.gov.co/Normatividad\\_Nuevo/Resolución No. 914 de 2020.pdf](https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/Resolución_No.914de2020.pdf)

S, M., & AM, K. (2005). How accurate is weight estimation in the emergency department? *Emergency Medicine Australasia : EMA*, 17(2), 113–116. <https://doi.org/10.1111/J.1742-6723.2005.00701.X>

Seo, D., Kang, E., Kim, Y. mi, Kim, S. Y., Oh, I. S., & Kim, M. G. (2020). SVM-based waist circumference estimation using Kinect. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 191, 105418. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2020.105418>

*Servicios sanitarios de calidad*. (n.d.). Retrieved September 4, 2021, from <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/quality-health-services>

Spencer, B. F., Hoskere, V., & Narazaki, Y. (2019). Advances in Computer Vision-Based Civil Infrastructure Inspection and Monitoring. In *Engineering* (Vol. 5, Issue 2).

<https://doi.org/10.1016/j.eng.2018.11.030>

Stancic, I., Cecić, M., & Supuk, T. (n.d.). *Computer vision system for human anthropometric parameters estimation Computer vision in kinematic analysis of sports activities View project Smartbots-Autonomous Control of Mobile Robots Using Computer Vision Algorithms and Modern Neural Network Architec*. <https://www.researchgate.net/publication/228667014>

Stančić, I., Musić, J., & Zanchi, V. (2013). Improved structured light 3D scanner with application to anthropometric parameter estimation. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 46(1), 716–726. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2012.09.010>

Stancic, I., Supuk, T., & Cecic, M. (2009). Computer vision system for human anthropometric parameters estimation. *WSEAS Transactions on Systems*, 8(3), 430–439.

Uhm, T., Park, H., & Park, J. II. (2015). Fully vision-based automatic human body measurement system for apparel application. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 61, 169–179. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2014.10.044>

Velardo, C., & Dugelay, J. L. (2010). Weight estimation from visual body appearance. *IEEE 4th International Conference on Biometrics: Theory, Applications and Systems, BTAS 2010*. <https://doi.org/10.1109/BTAS.2010.5634540>

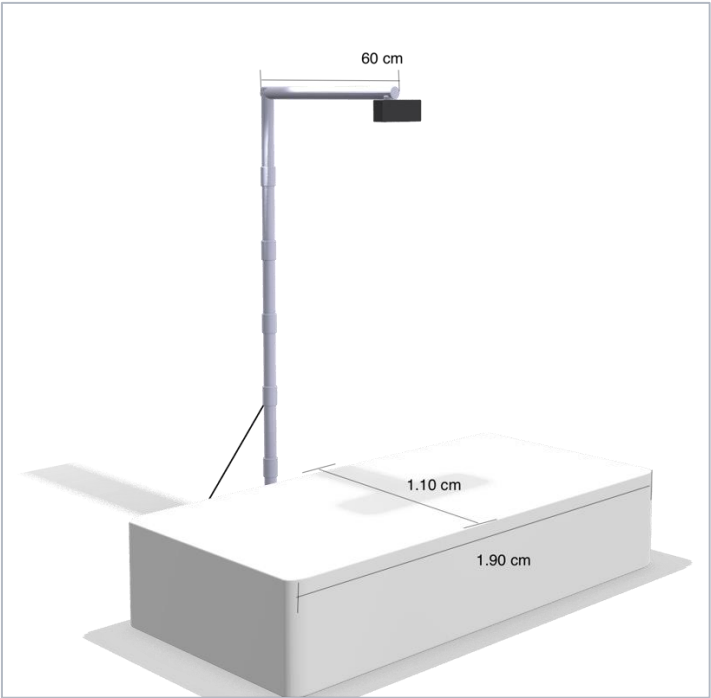
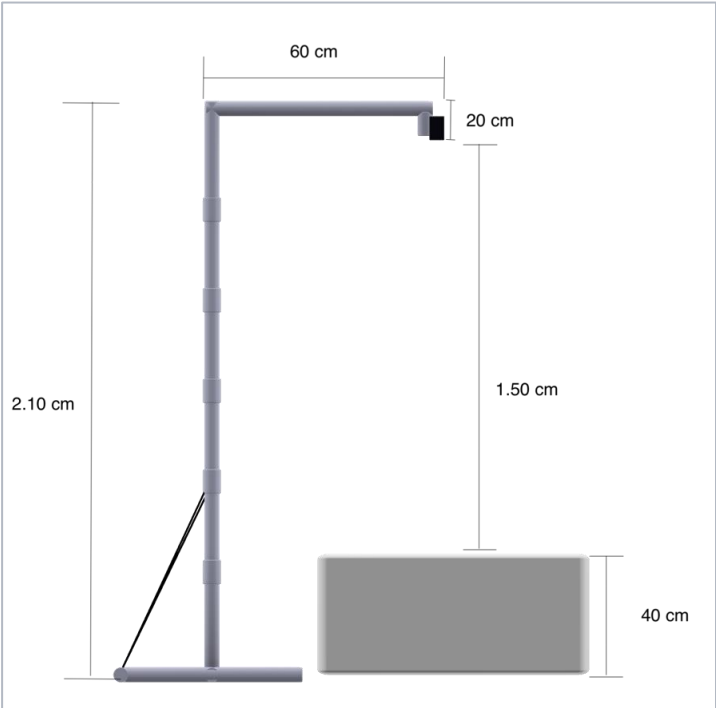
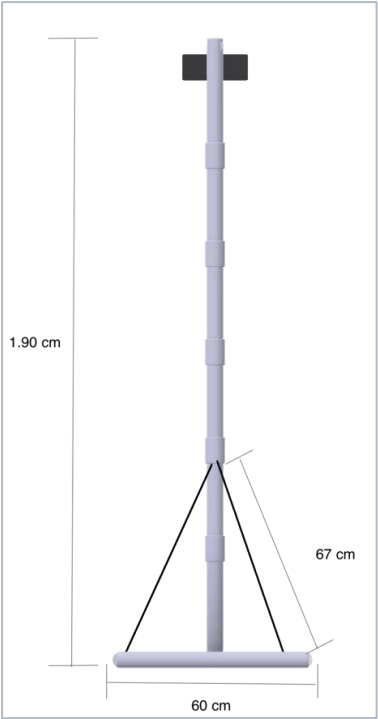
Velardo, C., & Dugelay, J. L. (2012). What can computer vision tell you about your weight? *European Signal Processing Conference, November, 1980–1984*.

Wang, L., Li, D., Zhu, Y., Tian, L., & Shan, Y. (n.d.). *Dual Super-Resolution Learning for Semantic Segmentation*.



12. Anexos

Anexo 1. Visualización del diseño de la estructura.



## Anexo 2. Código fuente comentado

```
classdef BodyMassEstimator < matlab.apps.AppBase
% Properties that correspond to app components
properties (Access = public)
    UIFigure matlab.ui.Figure
    MEDIDASESTIMADASENCENTMETROSPanel matlab.ui.container.Panel
    EstimarButton matlab.ui.control.Button
    AltRodillaText matlab.ui.control.NumericEditField
    PerimPantorrillaText matlab.ui.control.NumericEditField
    PerimCinturaLabel matlab.ui.control.Label
    MASACORPORALPanel matlab.ui.container.Panel
    KgLabel_2 matlab.ui.control.Label
    MasaText_2 matlab.ui.control.NumericEditField
    SexoButtonGroup matlab.ui.container.ButtonGroup
    MasculinoButton matlab.ui.control.RadioButton
    FemeninoButton matlab.ui.control.RadioButton
    EstaturaText matlab.ui.control.NumericEditField
    EnvergaduraLabel matlab.ui.control.Label
    PerimBrazoLabel matlab.ui.control.Label
    PerimBrazoText matlab.ui.control.NumericEditField
    PerimCinturaText matlab.ui.control.NumericEditField
    EnvergaduraText matlab.ui.control.NumericEditField
    EstaturaLabel matlab.ui.control.Label
    AlturaRodillaLabel matlab.ui.control.Label
    PerimPantorrillaLabel matlab.ui.control.Label
    UISegmentacion matlab.ui.control.UIAxes
    UIAntebrazo matlab.ui.control.UIAxes
    UILongPantorrilla matlab.ui.control.UIAxes
    UIBrazo matlab.ui.control.UIAxes
    UILongBrazo matlab.ui.control.UIAxes
    UIClavicula matlab.ui.control.UIAxes
```

```
UICintura matlab.ui.control.UIAxes
UIHpantorrilla matlab.ui.control.UIAxes
UIHBrazo matlab.ui.control.UIAxes
UIHCintura matlab.ui.control.UIAxes
UIHRodilla matlab.ui.control.UIAxes
end
```

```
properties (Access = public)
Dpantorrilla;
ROI;
D_ROI;
PadROI;
Pad3DROI;
binaryImage;
framesPerTrigger =20;
depthImage;
colorImage;
i2D;
i3D;
i2dgray;
i3D_Crop;
J;
BI;
BInv;
AInv;
B;
BW;
BW2;
iseg;
cloud;
p2d;
```

```
p3d;  
SE;  
BW3;  
sexo;  
ptCloud;  
player;  
bh;  
estaturaPixel;  
humanProps;  
fy;  
fz;  
height;  
kinectDeviceInfo; %info Kinect  
hr;%Altura Rodilla  
edad; %edad de la persona  
i2Dhuman;  
humano;  
im;  
bBoxes;  
fixedHuman;  
humanShape;  
humanShape3D;  
humanShapeProps;  
D_bin;  
humano3D;  
heightPix;  
ROI_HKnee;  
HKneeProps;  
HKnee_pix;  
HKnee_cm;  
grayImage3D;
```

ROI\_forearm;  
forearmProps;  
forearm\_pix;  
forearm\_cm;  
ROI\_arm;  
humangle;  
armProps;  
arm\_pix;  
arm\_cm;  
ROI\_Clav;  
clavProps;  
clav\_pix;  
clav\_cm;  
brace;  
wingspan;  
bBoxes3D;  
brazo2D;  
brazoProps;  
brazoEjeMayor;  
brazo\_pix;  
brazo\_cm;  
a\_brazo;  
cadRoi3DBrazo;  
brazo3D;  
centroid\_brazo\_eq;  
Peri\_Brazo;  
pb1;  
pb2;  
ROI\_span;  
DBrazoProps;  
D\_Brazocentroid;

b\_brazo;  
peri\_Brazo;  
pantorrilla;  
pantorrillaProps;  
pantEjeMayor;  
DpantorrillaProps;  
Dcentroid;  
centroid\_eq;  
pant\_pix;  
pant\_cm;  
a\_pant;  
b\_pant;  
Peri\_Pantorrilla;  
cadRoiCint;  
cintura2D;  
cintura2DProps;  
cintEjeMayor;  
xMinor;  
yMinor;  
cint\_pix;  
cint\_cm;  
a\_cint;  
cadRoi3DCint;  
cintura3D;  
DcintProps;  
D\_Cintcentroid;  
pc1;  
pc2;  
centroid\_cint\_eq;  
b\_cint;  
Peri\_Cintura;

```

masa_corporal1;
masa_corporal2;
folder;
filename;
T;
se;
captionV;
caption;
end
methods (Access = private)
function [ROI]=canonize2D(app,imagen)
% Read in image
I =imagen;
[rows, columns] = size(I);
numBandsVertically = 2;
numBandsHorizontally = 8;
topRows = round(linspace(1, rows+1, numBandsVertically + 1));
leftColumns = round(linspace(1, columns+1, numBandsHorizontally + 1));
i = 1;
for row = 1 : length(topRows) - 1
row1 = topRows(row);
row2 = topRows(row + 1) - 1;
for col = 1 : length(leftColumns) - 1
col1 = leftColumns(col);
col2 = leftColumns(col + 1) - 1;
subplot(numBandsVertically, numBandsHorizontally, i);
ROI{i} = I(row1 : row2, col1 : col2, :);
app.PadROI{i}=padarray(ROI{i},[3 3], 0, 'both');
imshow(app.PadROI{i});
app.caption = sprintf('ROI %d',i);
title(app.caption);

```

```

drawnow;
i = i + 1;
end
end
end
function [D_ROI]=canonize3D(app, imagen)
% Read in image
I =imagen;
[rows3D, columns3D] = size(I);
numBandsVertically3D = 2;
numBandsHorizontally3D = 8;
topRows3D = round(linspace(1, rows3D+1, numBandsVertically3D + 1));
leftColumns3D = round(linspace(1, columns3D+1, numBandsHorizontally3D + 1));
i = 1;
for row3D = 1 : length(topRows3D) - 1
row1 = topRows3D(row3D);
row2 = topRows3D(row3D + 1) - 1;
for col_3D = 1 : length(leftColumns3D) - 1
col1_3D = leftColumns3D(col_3D);
col2_3D = leftColumns3D(col_3D + 1) - 1;
subplot(numBandsVertically3D, numBandsHorizontally3D, i);
D_ROI{i} = I(row1 : row2, col1_3D : col2_3D, :);
app.Pad3DROI{i}=padarray(D_ROI{i},[3 3], 0, 'both');
imshow(app.Pad3DROI{i});
app.captionV = sprintf('D_ROI %d',i);
title(app.captionV);
drawnow;
i = i + 1;
end
end
end

```



```
end
```

```
% Callbacks that handle component events  
methods (Access = private)
```

```
% Code that executes after component creation  
function startupFcn(app)
```

```
app.kinectDeviceInfo = imaqhwinfo('kinect');  
app.colorImage = imaq.VideoDevice('kinect',1);  
app.depthImage = imaq.VideoDevice('kinect',2);  
preview(app.colorImage);
```

```
%iniciar
```

```
for i=1:app.framesPerTrigger
```

```
end
```

```
end
```

```
% Button pushed function: EstimarButton  
function EstimarButtonPushed(app, event)
```

```
%aumentar contraste
```

```
app.i3D=step(app.depthImage);  
app.i2D=step(app.colorImage);  
app.im=app.i2D(110:912,447:1785,:);  
app.AInv = imcomplement(app.im);  
app.BInv = imreducehaze(app.AInv);  
app.B = imreducehaze(app.BInv);
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
%BINARIZACIÓN IMAGEN 2D
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
app.i2dgray=rgb2gray(app.B);%convertir a grayscale
```

```
app.BW=imbinarize(app.i2dgray,0.18);%Binarización de imagen en grises
```

```
app.BW2=imfill(app.BW,'holes'); %relleno de huecos
```

```
app.binaryImage = bwareafilt(app.BW2,1);%Obtención de la región de mayor tamaño
```

```
app.se=strel('disk', 4); %strel
```

```
app.binaryImage = imclose(app.binaryImage,app.se); %Cierre morfológico de la  
figura, para garantizar una única región de interés
```

```
app.binaryImage = bwareafilt(app.binaryImage,1);
```

```
%Alinear horizontalmente
```

```
app.humanProps=regionprops(app.binaryImage,'Orientation');
```

```
app.humangle= app.humanProps.Orientation;
```

```
app.fixedHuman=imrotate(app.binaryImage, -app.humangle);
```

```
app.bBoxes =regionprops(app.fixedHuman,'BoundingBox');
```

```
%Recortar según las cajas que contienen la región
```

```
app.humano= imcrop(app.fixedHuman,  
[app.bBoxes.BoundingBox(1),app.bBoxes.BoundingBox(2),app.bBoxes.BoundingBox(3),ap  
p.bBoxes.BoundingBox(4)]);
```

```
app.i2Dhuman=imrotate(app.im, -app.humangle);
```

```
app.i2Dhuman=  
imcrop(app.i2Dhuman,[app.bBoxes.BoundingBox(1),app.bBoxes.BoundingBox(2),app.bBox  
es.BoundingBox(3),app.bBoxes.BoundingBox(4)]);
```

```
%Multiplicación de matrices
```

```
app.iseg= bsxfun(@times, app.i2Dhuman, cast(app.humano, 'like', app.i2Dhuman));
```

```
%Mostrar resultado
```

```
imshow(app.iseg,'Parent',app.UISegmentacion);%Imagen de paciente segmentado
```

```
app.humanShapeProps=regionprops(app.humano,  
'MajorAxisLength','MinorAxisLength','centroid');%Obtención de propiedades de la  
región
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

% BINARIZACIÓN DE IMAGEN 3D

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
app.i3D_Crop=app.i3D(70:330,36:505);%Imagen Profundidad Recortada  
app.J=histeq(app.i3D_Crop); %Equalización por Histograma
```

```
app.D_bin=app.i3D_Crop<1500;
```

```
figure, imshow(app.D_bin);
```

```
app.humano3D = bwareafilt(app.D_bin, 1);%Obtención de única región
```

%Obtener el bounding box de la figura en volumen

```
app.bBoxes3D =regionprops(app.humano3D,'BoundingBox');%Obtener Rectángulo más  
pequeño
```

%Recortar imagen al rectángulo más pequeño

```
app.humano3D= imcrop(app.humano3D,  
[app.bBoxes3D.BoundingBox(1),app.bBoxes3D.BoundingBox(2),app.bBoxes3D.BoundingBox  
(3),app.bBoxes3D.BoundingBox(4)]);
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

%Dividir en canon de figura humana

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
app.humanShape=canonize2D(app,app.humano);
```

```
app.humanShape3D=canonize3D(app,app.humano3D);
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

%ESTATURA

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%4433211017031751
```

```
app.heightPix=app.humanShapeProps.MajorAxisLength; %Resultado en Pixeles  
%Conversión a cm
```

%%%%%%%%%%%  
 %%%%%%%%%%

```
app.ROI_span=cat(2,app.humanShape{4},app.humanShape{5},app.humanShape{6},app.humanShape{7});
```

```
%antebrazo
```

```
app.ROI_forearm=app.ROI_span(1:round(size(app.ROI_span,1)*0.4),1:round(size(app.ROI_span,2)*0.7));
```

```
app.ROI_forearm = bwareafilt(app.ROI_forearm,1);
```

```
app.forearmProps=regionprops(app.ROI_forearm, 'MajorAxisLength', 'MinorAxisLength', 'Centroid', 'BoundingBox', 'Orientation');
```

```
app.forearm_pix=app.forearmProps.MajorAxisLength;
```

```
imshow( app.ROI_forearm, 'Parent', app.UIAntebrazo);%Plot antebrazo
```

```
hold on
```

```
plot(app.forearmProps.Centroid(1),app.forearmProps.Centroid(2), 'r.');
```

```
rectangle('Position',[app.forearmProps.BoundingBox(1),app.forearmProps.BoundingBox(2),app.forearmProps.BoundingBox(3),app.forearmProps.BoundingBox(4)], 'EdgeColor', 'r', 'LineWidth', 2, 'Parent', app.UIAntebrazo);
```

```
app.forearm_cm=round(-9.37434584819519e-09*app.forearm_pix^3+ 7.40277313974710e-05*app.forearm_pix^2+ 0.0522750198918651*app.forearm_pix+ 4.01145931995031,2);
```

```
%Brazo
```

```
app.ROI_arm=app.ROI_span(1:round(size(app.ROI_span,1)*0.5),round(size(app.ROI_span,2)*0.5):size(app.ROI_span,2));
```

```
app.ROI_arm = bwareafilt(app.ROI_arm,1);
```

```
app.armProps=regionprops(app.ROI_arm, 'MajorAxisLength', 'MinorAxisLength', 'Centroid', 'BoundingBox', 'Orientation');
```

```
app.arm_pix=sqrt(app.armProps.MajorAxisLength^2 + app.armProps.MinorAxisLength^2);
```

```
imshow( app.ROI_arm, 'Parent', app.UIBrazo);%plot Brazo
```

```
hold on
```

```
plot(app.armProps.Centroid(1),app.armProps.Centroid(2), 'r.');
```

```
rectangle('Position',[app.armProps.BoundingBox(1),app.armProps.BoundingBox(2),app.armProps.BoundingBox(3),app.armProps.BoundingBox(4)], 'EdgeColor', 'r', 'LineWidth', 2, 'Parent', app.UIBrazo);
```

```
app.arm_cm=round(-9.37434584819519e-09*app.arm_pix^3+ 7.40277313974710e-05*app.arm_pix^2+ 0.0522750198918651*app.arm_pix+ 4.01145931995031,2);
```

```
hold off
```

```
%Clavícula
```

```
app.ROI_Clav=app.humanShape{7};%Region de Clavícula
```

```

app.ROI_Clav = bwareafilt(app.ROI_Clav,1);
app.clavProps=regionprops(app.ROI_Clav, 'MajorAxisLength', 'MinorAxisLength', 'Centroid', 'BoundingBox', 'Orientation');
app.clav_pix=app.clavProps.MajorAxisLength;
imshow(app.ROI_Clav, 'Parent', app.UIClavicula);%plot clavícula
hold on
plot(app.clavProps.Centroid(1),app.clavProps.Centroid(2), 'r.')
rectangle('Position',[app.clavProps.BoundingBox(1),app.clavProps.BoundingBox(2),app.clavProps.BoundingBox(3),app.clavProps.BoundingBox(4)], 'EdgeColor', 'r','LineWidth', 2,'Parent',app.UIClavicula);
app.clav_cm=round( -9.37434584819519e-09*app.clav_pix^3+ 7.40277313974710e-05*app.clav_pix^2+ 0.0522750198918651*app.clav_pix+ 4.01145931995031,2);
hold off
app.brace=app.forearm_cm+app.arm_cm+app.clav_cm;
app.wingspan=app.brace*2;
app.EnvergaduraText.Value=app.wingspan;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Circunferencia de Pantorrilla
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

app.pantorrilla =
app.humanShape{2}(:,round(size(app.humanShape{2},2)*0.3):size(app.humanShape{2},2));
app.pantorrilla = bwareafilt(app.pantorrilla,1);
app.pantorrillaProps=regionprops(app.pantorrilla, 'MinorAxisLength', 'MajorAxisLength', 'Centroid', 'Orientation');
app.pantEjeMayor= app.pantorrillaProps.MinorAxisLength;
imshow(app.pantorrilla, 'Parent', app.UILongPantorrilla);
hold on
plot(app.pantorrillaProps.Centroid(1),app.pantorrillaProps.Centroid(2), 'r.')
app.xMinor=app.pantorrillaProps.Centroid(1) + [-1
1]*(app.pantorrillaProps.MinorAxisLength/2)*sind(app.pantorrillaProps.Orientation);

```

```

app.yMinor=app.pantorrillaProps.Centroid(2) + [-1
1]*(app.pantorrillaProps.MinorAxisLength/2)*cosd(app.pantorrillaProps.Orientation
);
line(app.xMinor, app.yMinor, 'Parent', app.UILongPantorrilla);

%Centroide de volumen

imshow(app.humanShape3D{2}, 'Parent', app.UIHpantorrilla);

hold on

app.Dpantorrilla = bwareafilt(app.humanShape3D{2},1);

app.DpantorrillaProps=regionprops(app.Dpantorrilla, 'MinorAxisLength',
'MajorAxisLength', 'Centroid', 'Orientation');

app.Dcentroid=app.DpantorrillaProps.Centroid;

app.centroid_eq=app.i3D_Crop(size(app.humanShape{2},2)+round(app.DpantorrillaProp
s.Centroid(2)),round(app.DpantorrillaProps.Centroid(2)));

%Conversión eje mayor de pantorrilla

app.pant_pix=app.pantEjeMayor;

app.pant_cm=round( -9.37434584819519e-09*app.pant_pix^3+ 7.40277313974710e-
05*app.pant_pix^2+ 0.0522750198918651*app.pant_pix+ 4.01145931995031,2);

app.a_pant=app.pant_cm*0.5; % eje a de elipse de pantorrilla

app.b_pant= (double(1500-app.centroid_eq)*0.05);

%Perímetro de elipse

app.Peri_Pantorrilla=round(2*pi*(sqrt((app.a_pant.^2+app.b_pant.^2)/2)),2);

app.PerimPantorrillaText.Value=app.Peri_Pantorrilla;%Entrega resultado en cuadro
de texto de pantorrilla

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%Circunferencia brazo

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

app.brazo2D=app.humanShape{6}(1:(size(app.humanShape{6},1)*0.5),(size(app.humanSh
ape{6},2)*0.4):size(app.humanShape{6},2));
app.brazoProps=regionprops(app.brazo2D, 'MinorAxisLength', 'MajorAxisLength',
'Centroid', 'Orientation');

app.brazoEjeMayor= regionprops(app.brazo2D, 'MinorAxisLength');

imshow(app.brazo2D, 'Parent', app.UILongBrazo)

```

[illegible]



```

%%
%Medir circunferencia de cintura

app.cadRoiCint=cat(1,app.humanShape{5},app.humanShape{13});%Concatenar regiones
de cintura

app.cintura2D = bwareafilt(app.cadRoiCint, 1); %obtener región más grande

app.cintura2DProps=regionprops(app.cintura2D, 'MinorAxisLength',
'MajorAxisLength', 'Centroid', 'Orientation');

app.cintEjeMayor= regionprops(app.cintura2D, 'MajorAxisLength');

imshow(app.cintura2D, 'Parent', app.UICintura);

hold on

xline(app.cintEjeMayor.MajorAxisLength);

plot(app.cintura2DProps.Centroid(1), app.cintura2DProps.Centroid(2), 'r.');

app.xMinor=app.cintura2DProps.Centroid(1) + [-1
1]*(app.cintura2DProps.MajorAxisLength/2)*cosd(app.cintura2DProps.Orientation);

app.yMinor=app.cintura2DProps.Centroid(2) + [-1
1]*(app.cintura2DProps.MajorAxisLength/2)*sind(app.cintura2DProps.Orientation);

line(app.xMinor, app.yMinor, 'Parent', app.UICintura);

%conversión a cm

app.cint_pix=app.cintEjeMayor.MajorAxisLength;

app.cint_cm=round(-9.37434584819519e-09*app.cint_pix^3+ 7.40277313974710e-
05*app.cint_pix^2+ 0.0522750198918651*app.cint_pix+ 4.01145931995031,2);

app.a_cint=app.cint_cm*0.5;

%Altura al centroide de la cintura

app.cadRoi3DCint=cat(1,app.humanShape3D{5},app.humanShape3D{13});%Concatenar
regiones de cintura

app.cintura3D = bwareafilt(app.cadRoi3DCint, 1); %obtener región más grande

imshow(app.cadRoi3DCint, 'Parent', app.UIHCintura);

hold on

app.DcintProps=regionprops(app.cintura3D, 'MinorAxisLength', 'MajorAxisLength',
'Centroid', 'Orientation');

app.D_Cintcentroid=app.DcintProps.Centroid;

app.pc1=round( app.D_Cintcentroid(1));

app.pc2=(size(app.humanShape3D{1},2)*4)+ round(app.D_Cintcentroid(2));

app.centroid_cint_eq=app.i3D_Crop(app.pc1,app.pc2);

```

```

app.b_cint= (double(1520-app.centroid_cint_eq)*0.05);
%Perímetro de elipse
app.Peri_Cintura=2*pi*(sqrt((app.a_cint.^2+app.b_cint.^2)/2));
app.PerimCinturaText.Value=app.Peri_Cintura;%Resultado en cuadro de texto

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%MASA CORPORAL

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

app.masa_corporal2=round((0.5759 *app.Peri_Brazo) + (0.5263 * app.Peri_Cintura) +
(1.2452 * app.Peri_Pantorrilla) -4.8689 *double(app.sexo) -32.9241,2);

%ENTREGA DE RESULTADOS

app.MasaText_2.Value=app.masa_corporal2;

end

% Callback function
function EstaturaButtonPushed(app, event)

end

% Callback function
function AltRodillaButtonPushed(app, event)

end

% Callback function
function ExportarXLSButtonPushed(app, event)

app.folder='Pesos Estimados';

app.filename= 'Estimacion de masa corporal.xls';

app.T = table(app.height,app.HKnee_cm, app.wingspan, app.Peri_Pantorrilla,
app.Peri_Brazo,app.Peri_Cintura, app.masa_corporal1,app.masa_corporal2);

writetable(app.T,app.filename,'Sheet','MyNewSheet','WriteVariableNames',false);

end

```

```

% Selection changed function: SexoButtonGroup
function SexoButtonGroupSelectionChanged(app, event)

app.MasculinoButton = app.SexoButtonGroup.SelectedObject;
if app.MasculinoButton == app.SexoButtonGroup.SelectedObject
app.sexo=1;
elseif app.FemeninoButton == app.SexoButtonGroup.SelectedObject
app.sexo=2;
end
end
end

% Component initialization
methods (Access = private)

% Create UIFigure and components
function createComponents(app)

% Create UIFigure and hide until all components are created
app.UIFigure = uifigure('Visible', 'off');
app.UIFigure.Color = [0.9412 0.9412 0.9412];
app.UIFigure.Position = [100 100 1379 576];
app.UIFigure.Name = 'MATLAB App';
app.UIFigure.WindowStyle = 'modal';

% Create MEDIDASESTIMADASENCENTMETROSPanel
app.MEDIDASESTIMADASENCENTMETROSPanel = uipanel(app.UIFigure);
app.MEDIDASESTIMADASENCENTMETROSPanel.Title = ' MEDIDAS ESTIMADAS EN
CENTÍMETROS';
app.MEDIDASESTIMADASENCENTMETROSPanel.Position = [201 113 383 169];

% Create EstimarButton
app.EstimarButton = uibutton(app.MEDIDASESTIMADASENCENTMETROSPanel, 'push');

```

```
app.EstimarButton.ButtonPushedFcn = createCallbackFcn(app, @EstimarButtonPushed, true);
```

```
app.EstimarButton.Position = [144 7 96 22];
```

```
app.EstimarButton.Text = 'Estimar';
```

```
% Create AltRodillaText
```

```
app.AltRodillaText = uieditfield(app.MEDIDASESTIMADASENCENTMETROSPanel, 'numeric');
```

```
app.AltRodillaText.Position = [111 79 57 22];
```

```
% Create PerimPantorrillaText
```

```
app.PerimPantorrillaText = uieditfield(app.MEDIDASESTIMADASENCENTMETROSPanel, 'numeric');
```

```
app.PerimPantorrillaText.Position = [310 109 57 22];
```

```
% Create PerimCinturaLabel
```

```
app.PerimCinturaLabel = uilabel(app.MEDIDASESTIMADASENCENTMETROSPanel);
```

```
app.PerimCinturaLabel.Position = [210 46 82 22];
```

```
app.PerimCinturaLabel.Text = 'Perim. Cintura';
```

```
% Create MASACORPORALPanel
```

```
app.MASACORPORALPanel = uipanel(app.UIFigure);
```

```
app.MASACORPORALPanel.ForegroundColor = [0 0.4471 0.7412];
```

```
app.MASACORPORALPanel.TitlePosition = 'centertop';
```

```
app.MASACORPORALPanel.Title = 'MASA CORPORAL';
```

```
app.MASACORPORALPanel.BackgroundColor = [1 1 1];
```

```
app.MASACORPORALPanel.FontSize = 18;
```

```
app.MASACORPORALPanel.Position = [670 23 422 119];
```

```
% Create KgLabel_2
```

```
app.KgLabel_2 = uilabel(app.MASACORPORALPanel);
```

```
app.KgLabel_2.FontSize = 36;
```

```
app.KgLabel_2.Position = [239 29 60 51];
```

```

app.KgLabel_2.Text = 'Kg';

% Create MasaText_2
app.MasaText_2 = uieditfield(app.MASACORPORALPanel, 'numeric');
app.MasaText_2.FontSize = 36;
app.MasaText_2.Position = [63 25 127 59];

% Create SexoButtonGroup
app.SexoButtonGroup = uibuttongroup(app.UIFigure);
app.SexoButtonGroup.SelectionChangedFcn = createCallbackFcn(app,
@SexoButtonGroupSelectionChanged, true);
app.SexoButtonGroup.TitlePosition = 'centertop';
app.SexoButtonGroup.Title = 'Sexo';
app.SexoButtonGroup.Position = [49 176 128 79];

% Create MasculinoButton
app.MasculinoButton = uiradiobutton(app.SexoButtonGroup);
app.MasculinoButton.Text = 'Masculino';
app.MasculinoButton.Position = [11 33 76 22];
app.MasculinoButton.Value = true;

% Create FemeninoButton
app.FemeninoButton = uiradiobutton(app.SexoButtonGroup);
app.FemeninoButton.Text = 'Femenino';
app.FemeninoButton.Position = [11 11 75 22];

% Create EstaturaText
app.EstaturaText = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.EstaturaText.Position = [312 219 57 22];

% Create EnvergaduraLabel
app.EnvergaduraLabel = uilabel(app.UIFigure);

```

```

app.EnvergaduraLabel.Position = [215 155 74 22];
app.EnvergaduraLabel.Text = 'Envergadura';

% Create PerimBrazoLabel
app.PerimBrazoLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.PerimBrazoLabel.Position = [414 187 75 22];
app.PerimBrazoLabel.Text = 'Perim. Brazo';

% Create PerimBrazoText
app.PerimBrazoText = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.PerimBrazoText.Position = [511 187 57 22];

% Create PerimCinturaText
app.PerimCinturaText = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.PerimCinturaText.Position = [511 155 57 22];

% Create EnvergaduraText
app.EnvergaduraText = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.EnvergaduraText.Position = [312 155 57 22];

% Create EstaturaLabel
app.EstaturaLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.EstaturaLabel.Position = [215 218 50 22];
app.EstaturaLabel.Text = 'Estatura';

% Create AlturaRodillaLabel
app.AlturaRodillaLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.AlturaRodillaLabel.Position = [215 187 77 22];
app.AlturaRodillaLabel.Text = 'Altura Rodilla';

% Create PerimPantorrillaLabel
app.PerimPantorrillaLabel = uilabel(app.UIFigure);

```

```

app.PerimPantorrillaLabel.Position = [411 218 98 22];
app.PerimPantorrillaLabel.Text = 'Perim. Pantorrilla';

% Create UISegmentacion
app.UISegmentacion = uiaxes(app.UIFigure);
title(app.UISegmentacion, {'Segmentación de paciente'; ''})
xlabel(app.UISegmentacion, 'X')
ylabel(app.UISegmentacion, 'Y')
zlabel(app.UISegmentacion, 'Z')
app.UISegmentacion.PlotBoxAspectRatio = [2.78082191780822 1 1];
app.UISegmentacion.Position = [49 295 535 267];

% Create UIAntebrazo
app.UIAntebrazo = uiaxes(app.UIFigure);
title(app.UIAntebrazo, 'Antebrazo')
xlabel(app.UIAntebrazo, 'X')
ylabel(app.UIAntebrazo, 'Y')
zlabel(app.UIAntebrazo, 'Z')
app.UIAntebrazo.PlotBoxAspectRatio = [2.84722222222222 1 1];
app.UIAntebrazo.Position = [617 418 208 113];

% Create UILongPantorrilla
app.UILongPantorrilla = uiaxes(app.UIFigure);
title(app.UILongPantorrilla, 'Longitud Pantorrilla')
xlabel(app.UILongPantorrilla, 'X')
ylabel(app.UILongPantorrilla, 'Y')
zlabel(app.UILongPantorrilla, 'Z')
app.UILongPantorrilla.PlotBoxAspectRatio = [2.84722222222222 1 1];
app.UILongPantorrilla.Position = [884 418 208 113];

% Create UIBrazo
app.UIBrazo = uiaxes(app.UIFigure);

```

```

title(app.UIBrazo, 'Brazo')
xlabel(app.UIBrazo, 'X')
ylabel(app.UIBrazo, 'Y')
zlabel(app.UIBrazo, 'Z')
app.UIBrazo.PlotBoxAspectRatio = [2.84722222222222 1 1];
app.UIBrazo.Position = [617 306 208 113];

% Create UILongBrazo
app.UILongBrazo = uiaxes(app.UIFigure);
title(app.UILongBrazo, 'Longitud Brazo')
xlabel(app.UILongBrazo, 'X')
ylabel(app.UILongBrazo, 'Y')
zlabel(app.UILongBrazo, 'Z')
app.UILongBrazo.PlotBoxAspectRatio = [2.84722222222222 1 1];
app.UILongBrazo.Position = [884 306 208 113];

% Create UIClavicula
app.UIClavicula = uiaxes(app.UIFigure);
title(app.UIClavicula, 'Clavícula')
xlabel(app.UIClavicula, 'X')
ylabel(app.UIClavicula, 'Y')
zlabel(app.UIClavicula, 'Z')
app.UIClavicula.PlotBoxAspectRatio = [2.84722222222222 1 1];
app.UIClavicula.Position = [617 173 208 113];

% Create UICintura
app.UICintura = uiaxes(app.UIFigure);
title(app.UICintura, {'Longitud Cintura'; ''})
xlabel(app.UICintura, 'X')
ylabel(app.UICintura, 'Y')
zlabel(app.UICintura, 'Z')

```



```

app.UICintura.PlotBoxAspectRatio = [2.80821917808219 1 1];
app.UICintura.Position = [884 173 208 113];

% Create UIHpantorrilla
app.UIHpantorrilla = uiaxes(app.UIFigure);
    title(app.UIHpantorrilla, 'Altura Pantorrilla')
    xlabel(app.UIHpantorrilla, 'X')
    ylabel(app.UIHpantorrilla, 'Y')
    zlabel(app.UIHpantorrilla, 'Z')
    app.UIHpantorrilla.PlotBoxAspectRatio = [2.84722222222222 1 1];
    app.UIHpantorrilla.Position = [1148 418 208 113];

% Create UIHBrazo
app.UIHBrazo = uiaxes(app.UIFigure);
    title(app.UIHBrazo, 'Altura Brazo')
    xlabel(app.UIHBrazo, 'X')
    ylabel(app.UIHBrazo, 'Y')
    zlabel(app.UIHBrazo, 'Z')
    app.UIHBrazo.PlotBoxAspectRatio = [2.88732394366197 1 1];
    app.UIHBrazo.Position = [1148 306 208 113];

% Create UIHCintura
app.UIHCintura = uiaxes(app.UIFigure);
    title(app.UIHCintura, 'Altura Cintura')
    xlabel(app.UIHCintura, 'X')
    ylabel(app.UIHCintura, 'Y')
    zlabel(app.UIHCintura, 'Z')
    app.UIHCintura.PlotBoxAspectRatio = [2.80821917808219 1 1];
    app.UIHCintura.Position = [1148 173 208 113];

% Create UIHRodilla
app.UIHRodilla = uiaxes(app.UIFigure);

```

```

title(app.UIHRodilla, 'Altura a Rodilla')
xlabel(app.UIHRodilla, 'X')
ylabel(app.UIHRodilla, 'Y')
zlabel(app.UIHRodilla, 'Z')
app.UIHRodilla.PlotBoxAspectRatio = [2.80821917808219 1 1];
app.UIHRodilla.Position = [1148 48 208 113];

% Show the figure after all components are created
app.UIFigure.Visible = 'on';

end

end

% App creation and deletion
methods (Access = public)

% Construct app
function app = BodyMassEstimator

% Create UIFigure and components
createComponents(app)

% Register the app with App Designer
registerApp(app, app.UIFigure)

% Execute the startup function
runStartupFcn(app, @startupFcn)

if nargin == 0
    clear app
end

end

```

```
% Code that executes before app deletion
function delete(app)

    % Delete UIFigure when app is deleted
    delete(app.UIFigure)

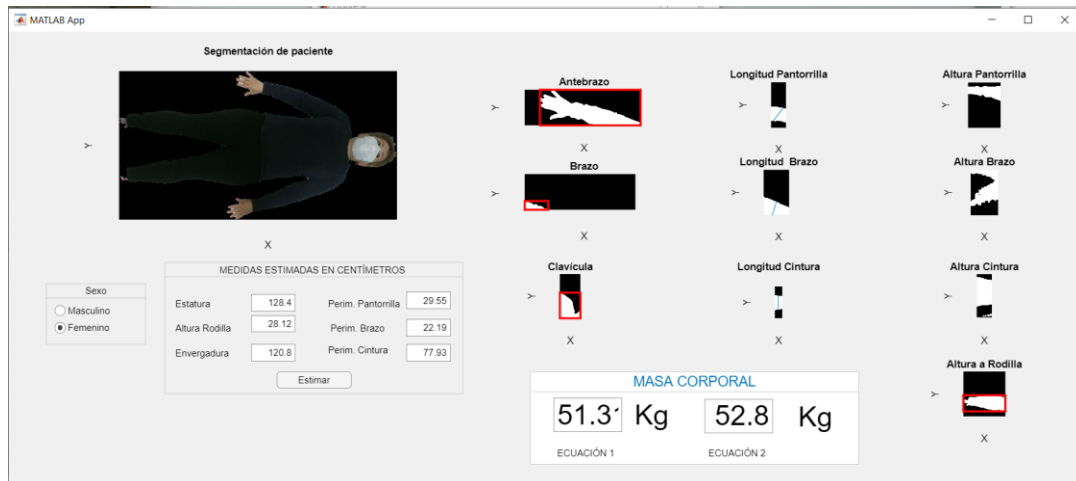
end

end

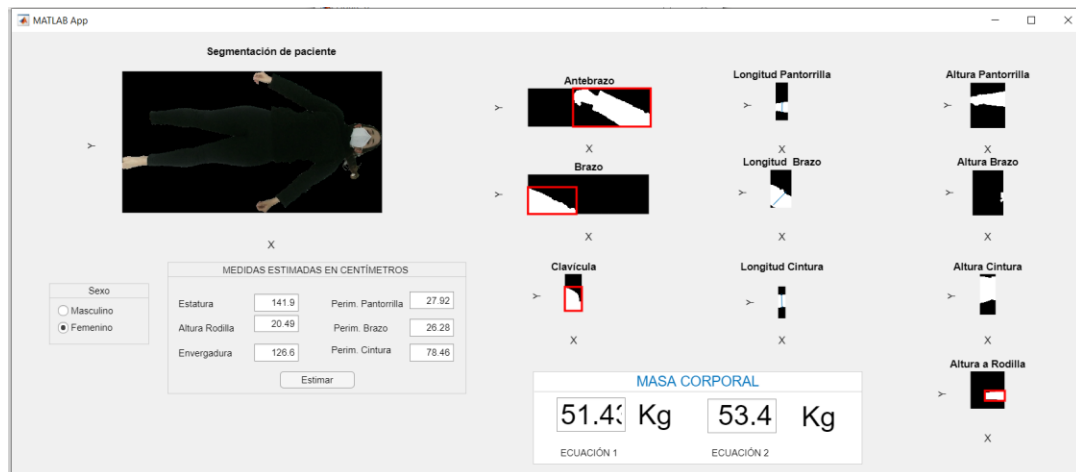
end
```

### Anexo 3. Fotos de soporte

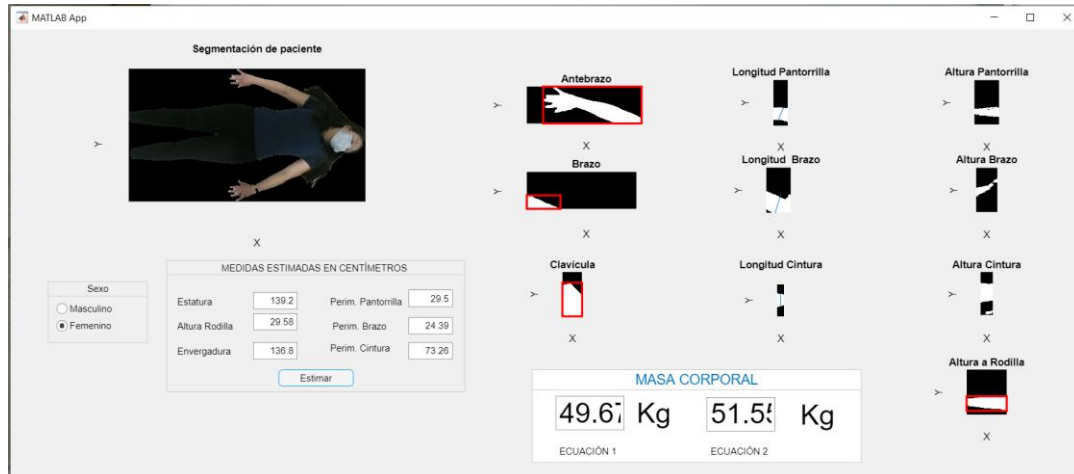
#### Participante 1



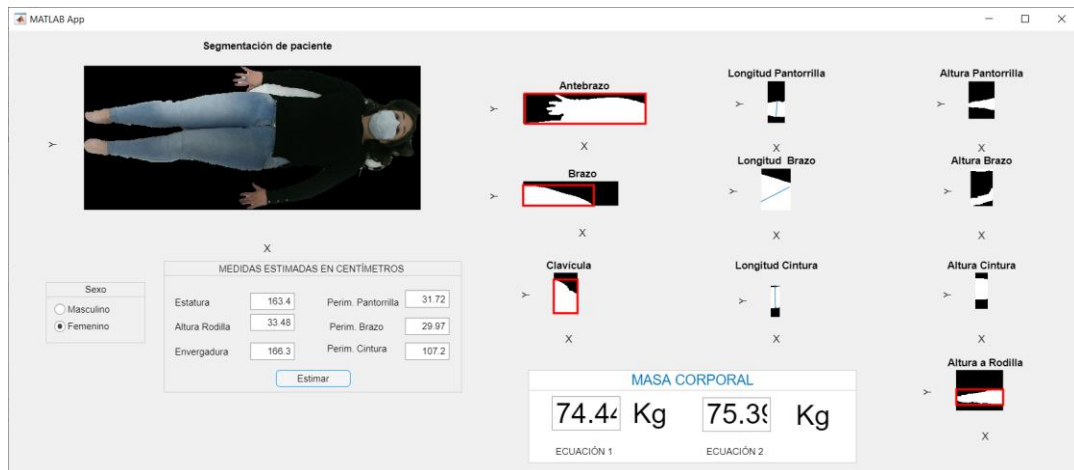
#### Participante 2



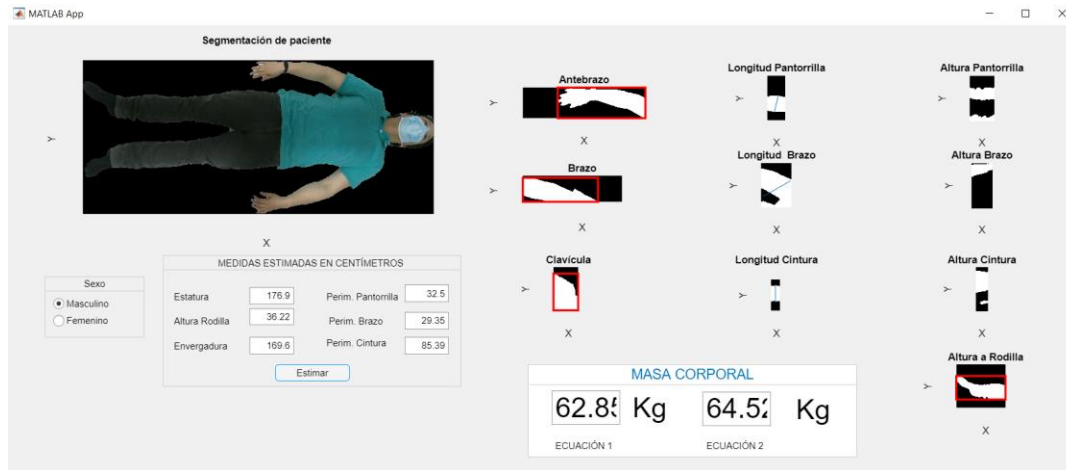
### Participante 3



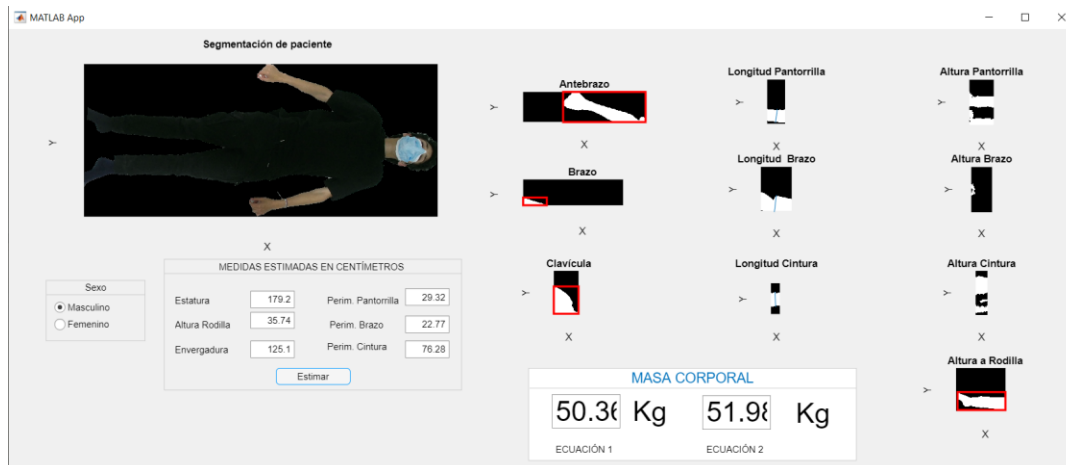
### Participante 4



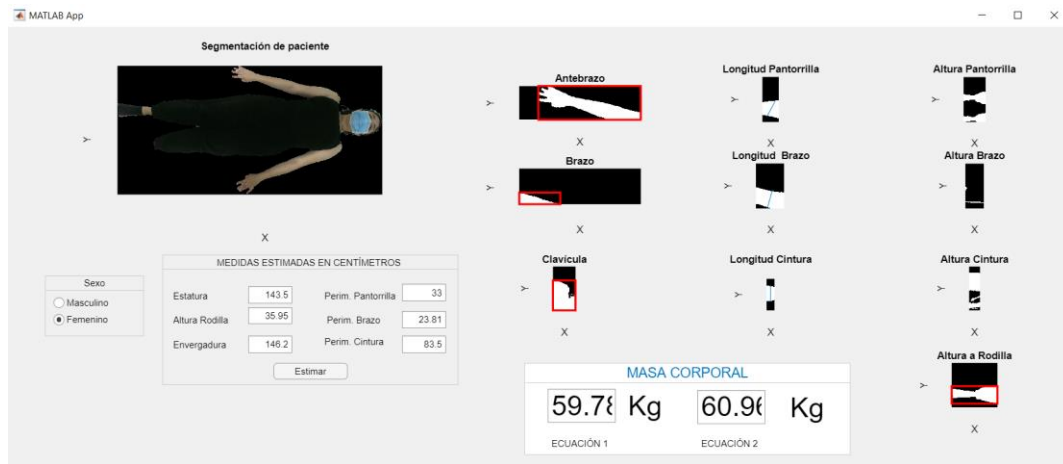
## Participante 5



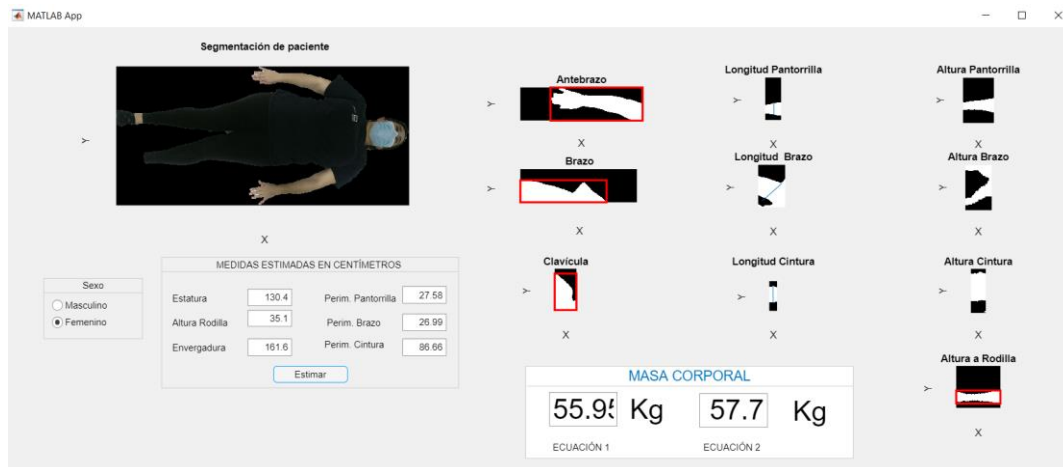
## Participante 6



## Participante 7




## Participante 8



## Participante 9

MATLAB App

Segmentación de paciente



Sexo

☒ Masculino

☐ Femenino

MEDIDAS ESTIMADAS EN CENTÍMETROS

Estatura	171.4	Perim. Pantorrilla	29.6
Altura Rodilla	35.37	Perim. Brazo	29.19
Envergadura	187.5	Perim. Cintura	76.22

Estimar

Antebrazo

X

Brazo

X

Clavicula

X

Longitud Pantorrilla

X

Longitud Brazo

X

Longitud Cintura

X

Altura Pantorrilla

X

Altura Brazo

X

Altura Cintura

X

Altura a Rodilla

X

MASA CORPORAL

54.9 Kg

57.04 Kg


ECUACIÓN 1

ECUACIÓN 2

## Participante 10

MATLAB App

Segmentación de paciente



Sexo

☒ Masculino

☐ Femenino

MEDIDAS ESTIMADAS EN CENTÍMETROS

Estatura	165.8	Perim. Pantorrilla	31.37
Altura Rodilla	33.16	Perim. Brazo	24.92
Envergadura	164.4	Perim. Cintura	78.82

Estimar

Antebrazo

X

Brazo

X

Clavicula

X

Longitud Pantorrilla

X

Longitud Brazo

X

Longitud Cintura

X

Altura Pantorrilla

X

Altura Brazo

X

Altura Cintura

X

Altura a Rodilla

X

MASA CORPORAL

55.52 Kg

57.1 Kg

ECUACIÓN 1

ECUACIÓN 2



#### Anexo 4. Tabla de medidas

Medidas con cinta métrica - Prueba I (Datos expresados en centímetros)							
Nombre	P. brazo	P. Pierna	P. Cintura	Altura de rodilla	Peso	Estatura	Envergadura
Participante 1	32.5	38	89.5	44	63.8	154	153
Participante 2	30	37	78	45	57.3	155	155
Participante 3	26	36.5	76.5	47	60.3	162	160
Participante 4	31	42.5	92	50	83.9	167	165
Participante 5	29	38.5	94	49	78	170	169
Participante 6	20	31.5	69	51.5	48	174	173
Participante 7	26	37	84.5	50	64.6	161	159
Participante 8	30	46.5	100	46.5	72.9	152	153
Participante 9	23.5	34	76	53	53.6	171	170
Participante 10	29	37.5	93	51	70.8	168	168

Medidas con Kinect - Prueba I (Datos expresados en centímetros)							
Nombre	P. brazo	P. Pierna	P. Cintura	Altura de rodilla	Peso	Estatura	Envergadura
Participante 1	22.1	29.5	77.9	28.1	52.8	128	120
Participante 2	26.2	27.9	78.4	20.4	53.4	141	126
Participante 3	24.3	29.5	73.2	29.5	51.5	139	136
Participante 4	29.9	31.7	107.2	33.4	75.3	163	166
Participante 5	29.3	32.5	85.3	36.2	64.5	176	169
Participante 6	22.7	29.3	76.2	35.7	51.9	179	125
Participante 7	23.8	33	83.5	35.9	60.9	143	146
Participante 8	26.9	27.5	86	35.1	57.7	130	161
Participante 9	29.1	29.6	78.2	35.3	57	171	187
Participante 10	24.9	31.3	78.8	33.1	57.1	165	164

## Anexo 5. Tabla de fórmulas de estimación

La estimación de las siguientes magnitudes ampliará el conocimiento de las características físicas del cuerpo del paciente. La siguiente tabla muestra las magnitudes.

MEDIDA	GÉNERO	ECUACIÓN
Peso teórico	N.A	$Pt_{kg} = 50 + (0.75 \times (Talla(cm) - 150))$
Peso teórico por edad, talla y género	M	$Pt(Kg) = Talla(cm) - 100 - \left( \left( \frac{Talla(cm) - 150}{4} \right) + \left( \frac{Edad(años) - 20}{4} \right) \right)$
	F	$Pt(Kg) = Talla(cm) - 100 - \left( \left( \frac{Talla(cm) - 150}{4} \right) + \left( \frac{Edad(años) - 20}{2.5} \right) \right)$
Peso real corregido por edema	N.A	$Pt(K) = peso\ real\ sin\ edema(Kg) - exceso\ de\ peso\ hídrico(Kg)$
Talla (T ) mediante hemienvergadura	N.A.	$T(cm) = 65.8cm + (1.33 * Envergadura(cm))$
Talla (T ), mediante distancia rodilla-maléolo externo y edad	N.A	$T(cm) = 1.121 * altura\ rodilla\ (cm) - (0.117 * Edad\ (años)) + 119$
Talla mediante largo de pierna	M	$Tcm = 71.85cm + (1.88 \times largo\ de\ pierna(cm))$
	F	$Tcm = 71.85cm + (1.88 \times largo\ de\ piernacm) - (0.6 * Edad\ (años))$
Area de la superficie corporeal, mediante talla y peso	N.A.	$ASC\ (m^2) = \sqrt{\frac{Talla\ (cm) * Peso\ (Kg)}{3600}}$
Complexión corpolar mediante talla y peso	N.A.	$CC = \frac{Talla\ (cm)}{Perímetro\ de\ muñeca\ (cm)}$
Area de grasa intra adominal mediante perímetro de cintura y edad	N.A	$AGIA\ (cm^2) = (2.125 * Edad\ (años)) + (2.843 * perímetro\ de\ cintura\ (cm)) - 225.39$
Agua Corporal Total	M	$ACTL = (-0.09516 \times Edadaños) + (0.1074 \times Tallacm) + (0.3362 \times Pesokg) + 2.447$
	F	$ACTL = (0.1069 \times Tallacm) + (0.2466 \times Pesokg) - 2.097$
Índice de masa corporal	N.A	$IMC_{Kg/m^2} = \frac{Peso\ (Kg)}{Talla\ (m^2)}$
Area del Brazo	N.A	$ABr(cm^2) = \frac{Perímetro\ de\ brazo(cm)^2}{4\pi}$
Porcentaje de area de grasa del brazo	N.A	$\%AGBr = \frac{AGBr(cm^2)}{ABr(cm^2)} * 100$
Relación entre perímetro de cintura y talla (PcT )	N.A.	$PcT = \frac{Perímetro\ cintura\ (cm)}{Talla\ (cm)}$

## Anexo 6. Tabla de formulario de registro de síntomas Covid-19

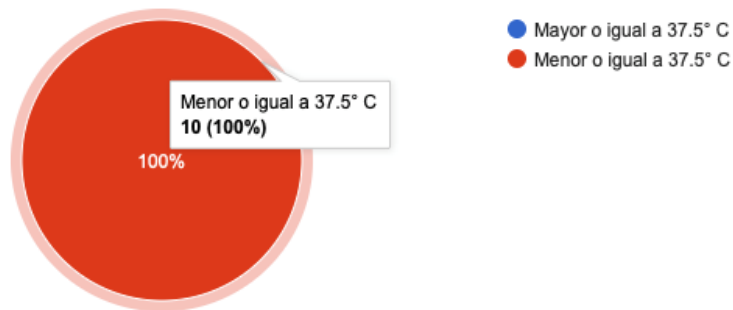
Enlace del formulario: <https://forms.gle/XiXYRm5YfkggQDsU6>

Participante	Marca temporal	¿En las últimas 24 horas, su temperatura ha sido...?	¿Durante las 24 horas anteriores ha tenido alguno de los síntomas mencionados a continuación?	¿Alguno de los familiares con los que convive ha presentado alguno de los siguientes síntomas en las últimas 24 horas?	Elija las opciones que apliquen:	¿Tiene el esquema completo de la vacuna contra el Covid-19?
Participante 2	10/1/2021 22:17:10	Menor o igual a 37.5° C	Ninguna de las anteriores	Ninguna de las anteriores	Ninguna de las anteriores	Sí
Participante 1	10/1/2021 22:18:03	Menor o igual a 37.5° C	Ninguna de las anteriores	Ninguna de las anteriores	Ninguna de las anteriores	Sí
Participante 4	10/3/2021 19:24:11	Menor o igual a 37.5° C	Ninguna de las anteriores	Ninguna de las anteriores	Ninguna de las anteriores	Sí
Participante 5	10/3/2021 19:45:42	Menor o igual a 37.5° C	Ninguna de las anteriores	Ninguna de las anteriores	Ninguna de las anteriores	Sí
Participante 6	10/3/2021 19:47:43	Menor o igual a 37.5° C	Ninguna de las anteriores	Ninguna de las anteriores	Ninguna de las anteriores	Sí
Participante 9	10/4/2021 8:09:46	Menor o igual a 37.5° C	Ninguna de las anteriores	Ninguna de las anteriores	Ninguna de las anteriores	No
Participante 7	10/5/2021 9:10:20	Menor o igual a 37.5° C	Ninguna de las anteriores	Ninguna de las anteriores	Ninguna de las anteriores	Sí
Participante 8	10/5/2021 10:11:16	Menor o igual a 37.5° C	Ninguna de las anteriores	Ninguna de las anteriores	Ninguna de las anteriores	Sí
Participante 10	10/5/2021 10:14:09	Menor o igual a 37.5° C	Ninguna de las anteriores	Ninguna de las anteriores	Ninguna de las anteriores	Sí
Participante 3	10/7/2021 9:01:38	Menor o igual a 37.5° C	Ninguna de las anteriores	Ninguna de las anteriores	Ninguna de las anteriores	Sí

## Resultados:

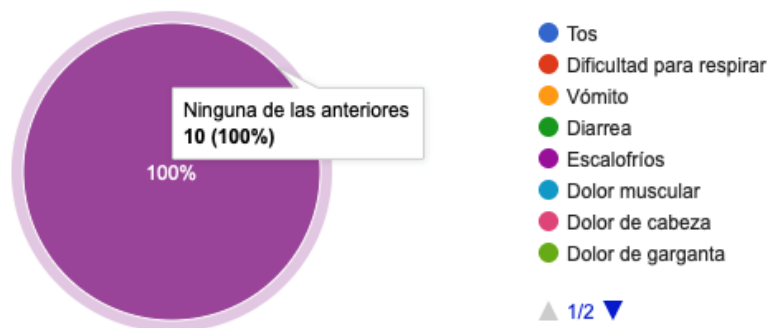
¿En las últimas 24 horas, su temperatura ha sido...?

10 respuestas



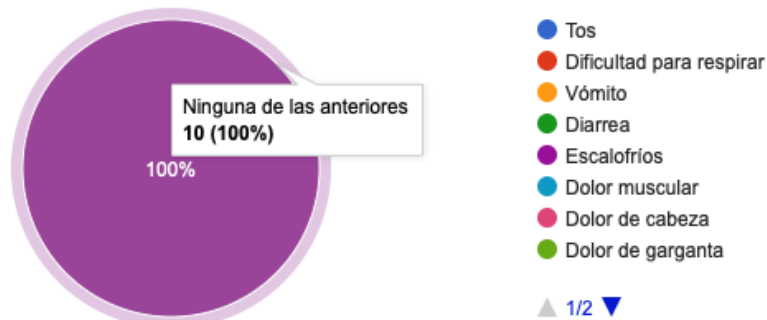
¿Durante las 24 horas anteriores ha tenido alguno de lo síntomas mencionados a continuación?

10 respuestas



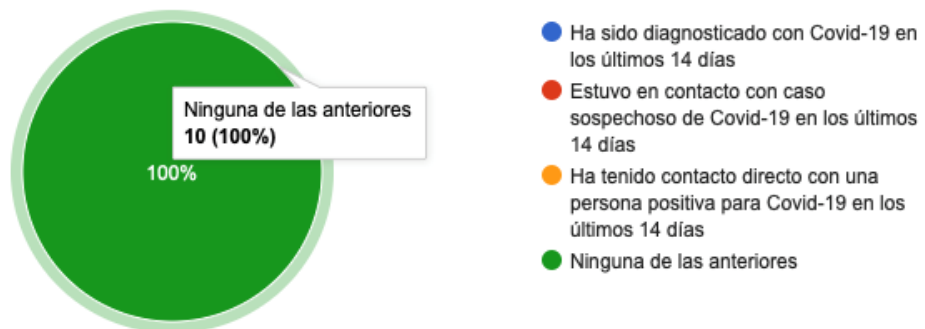
¿Alguno de los familiares con los que convive ha presentado alguno de los siguientes síntomas en las últimas 24 horas?

10 respuestas



Elija las opciones que apliquen:

10 respuestas



¿Tiene el esquema completo de la vacuna contra el Covid-19?

10 respuestas

