

**MODELAMIENTO DE LOS PATRONES DE MOVIMIENTO PRESENTES
EN LA MARCHA HUMANA A PARTIR DEL ANÁLISIS DE SILUETAS
ADQUIRIDAS EN AMBIENTES CON ILUMINACIÓN NO CONTROLADA
EMPLEANDO TÉCNICAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL.**

JOHN JAIRO SANABRIA SARMIENTO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INFORMÁTICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE SISTEMAS E INFORMÁTICA
BUCARAMANGA**

2014

**MODELAMIENTO DE LOS PATRONES DE MOVIMIENTO PRESENTES
EN LA MARCHA HUMANA A PARTIR DEL ANÁLISIS DE SILUETAS
ADQUIRIDAS EN AMBIENTES CON ILUMINACIÓN NO CONTROLADA
EMPLEANDO TÉCNICAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL.**

John Jairo Sanabria Sarmiento

**Trabajo de grado presentado para optar el título de Magister en
Ingeniería de Sistemas e Informática**

Director del Proyecto

John Faber Archila Díaz, Profesor

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INFORMÁTICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE SISTEMAS E INFORMÁTICA
BUCARAMANGA**

2014

A mis padres y hermana.
A mi esposa y mis hijos, Thalía, María José y Santiago, por su paciencia y
por el tiempo .regalado para la culminación de parte de mi proyecto de
vida académica

Agradecimientos

Al profesor John F Archila D por sus aportes, amistad, apoyo y orientación durante el desarrollo del presente proyecto.

Y a todas aquellas personas, no mencionadas explícitamente, que de manera directa o indirecta colaboraron en este proceso de formación académica.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	17
1 ANTECEDENTES	17
1.1 MOTIVACIÓN Y OBJETIVOS	23
1.2 HIPÓTESIS DE LA TESIS	24
2 MARCO CONCEPTUAL.....	26
2.1 MARCHA	28
2.1.1 Fases del ciclo de la marcha.....	29
2.1.2 Estadios en el desarrollo de la marcha humana	30
2.1.3 Análisis de la marcha	31
2.1.4 Planos anatómicos de ocurrencia de la marcha	31
2.1.5 Parámetros de la marcha.....	32
2.1.6 Valoración de la marcha	34
3 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	35
3.1 EVOLUCIÓN DEL ANÁLISIS DE LA MARCHA	35
3.2 MODELAMIENTO DE LA MARCHA	36
3.2.1 Modelamiento mediante modelos analíticos.....	36
3.2.2 Modelamiento mediante métodos estadísticos.....	37
3.3 INTELIGENCIA ARTIFICIAL	43
3.3.1 Visión Artificial	44
3.3.2 Métricas de comparación.	46
3.4 PROBLEMAS PRESENTES EN EL PROCESAMIENTO DE IMÁGENES	51
3.4.1 Fallas de iluminación.....	51
3.4.2 Degradación presente en imágenes debida a desenfoque (Blur).....	52
4 METODOLOGÍA EMPLEADA	54
4.1 DESARROLLO DE LA APLICACIÓN INFORMÁTICA	54
4.1.1 Selección de la herramienta de programación	54
4.1.2 Metodología de desarrollo.....	56
4.2 MANEJO DE LAS CONDICIONES DE ILUMINACIÓN	59

4.2.1 Resultados experimentales	64
4.3 OBTENCIÓN AUTOMÁTICA DE SILUETAS.....	70
4.3.1 Resultados experimentales	72
4.4 DESENFUQUE DE LA IMAGEN	75
4.4.1 Resultados experimentales	77
4.5 MODELOS HMM.....	84
4.5.1 Resultados experimentales	87
4.6 TÉCNICAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL	88
4.6.1 Resultados experimentales	89
4.7 MODELO MATEMÁTICO	91
4.7.1 Resultados experimentales	92
5 INTEGRACIÓN DE COMPONENTES	96
5.1 DATOS DE ENTRADA.....	96
5.2 PROCESO REALIZADO	97
5.2.1 Resultados experimentales	98
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	100
PARTICIPACIÓN EN EVENTOS Y REVISTAS	103
REFERENCIAS	105
BIBLIOGRAFIA.....	120
ANEXOS	135

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1. VALORACIÓN DE PACIENTE CON ENFERMEDAD DE PARKINSON	19
FIGURA 2. PARÁMETROS CONSIDERADOS EN EL ANÁLISIS DE MARCHA	20
FIGURA 3. MEDICIÓN DE PARÁMETROS CINEMÁTICOS.....	21
FIGURA 4. TÉCNICAS PARA CAPTURA DE MOVIMIENTO.....	28
FIGURA 5. FASES DEL CICLO DE LA MARCHA	30
FIGURA 6. PLANOS ANATÓMICOS 1 FRONTAL. 2 SAGITAL 3 TRANSVERSAL	32
FIGURA 7. MÉTODOS PARA ANÁLISIS DE LA MARCHA	35
FIGURA 8. HMM.....	38
FIGURA 9. PROCESOS EMPLEADOS EN LA VISIÓN ARTIFICIAL.....	44
FIGURA 10. INTERFAZ GRAFICA.....	56
FIGURA 11. MENÚ DESARROLLADO	56
FIGURA 12. SUBPROCESOS ESPECÍFICOS	58
FIGURA 13. USO DE LA GUI EN EL PROCESO	65
FIGURA 14. SELECCIÓN DE ARCHIVOS	65
FIGURA 15. CONJUNTO DE IMÁGENES USADAS EN LA COMPARACIÓN	66
FIGURA 16. RESULTADOS CUALITATIVOS OBTENIDOS	67
FIGURA 17. RESULTADOS CUALITATIVOS OBTENIDOS	68
FIGURA 18. USO DE LA INTERFAZ GRAFICA EN EL PROCESO	73
FIGURA 19. SELECCIÓN DE ARCHIVOS	73
FIGURA 20. TÉCNICAS EMPLEADAS PARA LA OBTENCIÓN DE LAS SILUETAS.....	74
FIGURA 21. USO DE LA GUI EN EL PROCESO	77
FIGURA 22. SELECCIÓN DE ARCHIVOS	77
FIGURA 23. DIAGRAMA DE FLUJO EMPLEADO	78

FIGURA 24.	DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA DECONVOLUCIÓN NO <i>BLIND</i>	80
FIGURA 25.	PROMEDIO PSNR (DB).....	82
FIGURA 26.	PROMEDIO TIEMPO (S)	82
FIGURA 27.	PROMEDIO DEL ERROR MEDIO CUADRÁTICO (MSE)	83
FIGURA 28.	USO DE LA GUI EN EL PROCESO	85
FIGURA 29.	SELECCIÓN DE ARCHIVOS	86
FIGURA 30.	EJEMPLO DE LAS IMÁGENES EMPLEADAS	86
FIGURA 31.	ENTRENAMIENTO DE LOS HMM.....	87
FIGURA 32.	USO DE LA GUI EN EL PROCESO	90
FIGURA 33.	SELECCIÓN DE ARCHIVOS	90
FIGURA 34.	MODELO PÉNDULO INVERTIDO.....	92
FIGURA 35.	MODELO SIETE SEGMENTOS	94
FIGURA 36.	INTEGRACIÓN DE LOS MÓDULOS	97
FIGURA 37.	EJEMPLOS DE LAS TOMAS USADAS	98
FIGURA 38.	UBICACIÓN DE LAS CÁMARAS	137
FIGURA 39.	ILUSTRACIÓN DEL CONTENIDO DE LA BASE DE DATOS	140
FIGURA 40.	MUESTRA DEL DATASET A.....	142
FIGURA 41.	MUESTRA DATABASE B	143
FIGURA 42.	MUESTRA DATASET C.....	144
FIGURA 43.	MUESTRA DATABASE D	144

LISTA DE TABLAS

	Pág.
TABLA 1. PARÁMETROS DE LA MARCHA.....	33
TABLA 2. CLASIFICACIÓN DE LAS MÉTRICAS.....	47
TABLA 3. MÉTRICAS USUALES EN PROCESAMIENTO DE IMÁGENES	48
TABLA 4. MSE	68
TABLA 5. PSNR.....	69
TABLA 6. AMBE.....	69
TABLA 7. DESCRIPCIÓN DE LAS TAREAS REALIZADAS	70
TABLA 8. ACTIVIDADES PARA OBTENCIÓN DE LA SILUETA	72
TABLA 9. RESULTADOS CUANTITATIVOS OBTENIDOS	75
TABLA 10. ALGORITMOS EMPLEADOS EN LA DECONVOLUCIÓN	79
TABLA 11. TIEMPOS DE LA RESTAURACIÓN USANDO TÉCNICAS NO BLIND	80
TABLA 12. MSE DE LA RESTAURACIÓN USANDO TÉCNICAS NO BLIND.....	81
TABLA 13. PSNR DE LA RESTAURACIÓN USANDO TÉCNICAS NO <i>BLIND</i>	81
TABLA 14. CARACTERÍSTICAS DE LA BASE DE DATOS EMPLEADA	84
TABLA 15. COMPARACIÓN DE HMM	88
TABLA 16. ALGORITMOS AI EN VALORACIÓN.....	89
TABLA 17. VALORACIÓN DE LOS ALGORITMOS	91
TABLA 18. COMPARACIÓN MODELOS MATEMÁTICOS VS MODELO COMPUTACIONAL.....	95
TABLA 19. RESULTADO DE LA VALORACIÓN.....	96

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1 BASES DE DATOS EMPLEADAS	136

RESUMEN

TITULO

MODELAMIENTO DE LOS PATRONES DE MOVIMIENTO PRESENTES EN LA MARCHA HUMANA A PARTIR DEL ANÁLISIS DE SILUETAS ADQUIRIDAS EN AMBIENTES CON ILUMINACIÓN NO CONTROLADA EMPLEANDO TÉCNICAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL*.

AUTOR

John Jairo Sanabria Sarmiento[†]

PALABRAS CLAVE

Modelo, Iluminación, Siluetas, Procesamiento de señales

DESCRIPCIÓN

De acuerdo con estadísticas oficiales un 15% de la población mundial sufre de alguna discapacidad, estando un 3% de los casos asociados al movimiento. Considerándose la discapacidad como un motivo de preocupación dada su creciente aparición debido a diversas causas. Adicional debe señalarse que a nivel mundial, el hecho de presentar una discapacidad dificulta a la persona alcanzar una calidad de vida aceptable.

Siendo esencial el desarrollo de investigaciones acerca de la reducción del impacto de la discapacidad y la detección temprana de esta, a través del desarrollo de técnicas y herramientas tecnológicas que faciliten el registro y seguimiento de manera objetiva durante la rehabilitación de un paciente, para el presente documento se considera el análisis de la marcha humana relacionado con las terapias de rehabilitación. Partiendo del hecho que el uso de técnicas basadas en el contacto puede llegar a alterar el patrón de movimiento natural de la persona, en el presente documento se propone un sistema de análisis de movimiento basado en imágenes, específicamente siluetas, a través de técnicas de inteligencia artificial.

Como metodología de trabajo se divide el problema en subprocesos implementando los algoritmos de las posibles soluciones, identificadas durante la revisión bibliográfica, a fin de determinar la técnica/algoritmo adecuada.

A partir de la valoración a través de métricas cuantitativas de las técnicas revisadas en cada etapa se selecciona la de mejor comportamiento ajustándola a las necesidades del proyecto, a fin de ser parte de la solución propuesta a fin de obtener una herramienta de utilidad en el entorno de la problemática observada, el trabajo resultante presenta una solución aplicable, con perspectivas para apoyar el análisis de la marcha y ser usado en el análisis de otros movimientos del ser humano, luego de la realización de los ajustes necesarios.

* Tesis de maestría

[†] Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Diseño Industrial. Director: Profesor John Faber Archila Díaz.

SUMMARY

TITLE

MODELING OF PATTERNS IN HUMAN GAIT BASED IN SILHOUETTES ACQUIRED UNDER UNCONTROLLED LIGHTING CONDITIONS BY ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNIQUES.[‡]

AUTHOR

John Jairo Sanabria Sarmiento[§]

KEYWORDS

Uncontrolled lighting, Model, signal processing, silhouettes.

DESCRIPTION

Approximately 15% of the world population lives with some form of disability, and the 3% of the problems are associated with motion. Disability will be an aspect of concern because its prevalence is on rise due in part to the aging population and the increase in the number of people affected by the so-called chronic diseases. Worldwide, people with disabilities are subjected to deplorable sanitary conditions and lower economic participation making them difficult to achieve a reasonable quality of life. Research about how to reduce the impact of disability and early detection of this, are tools to facilitate the rehabilitation of patients, work motion estimation and registration of the evolution after rehabilitation therapies are critical areas.

Given the fact that use of contact based techniques can alter the natural movement pattern of the individual, in this paper we implement a motion analysis system based on images, specifically silhouettes, through artificial intelligence techniques, the evaluation is realized through stages as illumination adjustment, automatic silhouettes determination, blur adjustment, activity modeling, activity identification and mathematic modeling, selected the adequate ones after its evaluation objective. Additionally the integration of algorithms of best performance is evaluated, concluding that the system implemented is an admissible solution for gait analysis with possible use in other areas of human movement analysis.

[‡]Research Work

[§]Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Industrial Design. Advisor: Professor John Faber Archila Diaz.

GLOSARIO

CONVOLUCIÓN: corresponde a un operador matemático usado para transformar dos funciones , representadas por ejemplo por f y g en una tercera función z , la cual representa la magnitud de superposición entre la función f y una versión trasladada e invertida de g . Tiene un operación contrario denominada deconvolución, la cual pretende determinar a partir de z y una de las funciones operadas, la otra.

DCL: Diagrama de cuerpo libre, corresponde a la representación gráfica comúnmente utilizada en física e ingeniería para analizar las fuerzas actuantes sobre un cuerpo libre. El diagrama de cuerpo libre es un caso particular de un diagrama de fuerzas.

ESPACIO DE COLOR: Es un modelo matemático abstracto, en el cual se representa cada componente de color mediante una tripleta

ESTADIO: Etapa o fase de un proceso, desarrollo o transformación.

HEQ: acrónimo de Ecuación del Histograma, siendo esta una técnica empleada en procesamiento de imágenes, basada en el ajuste del contraste global, es notable especialmente cuando la información de la imagen, tiene valores similares. Con su uso las intensidades se distribuyen a lo largo del histograma.

HSI: Espacio de color representado por un sistema de coordenadas correspondientes a la pureza Hue (H), Saturación (S) e Intensidad (I)

HMM (HIDDEN MARKOV MODELS): corresponde a un modelo estadístico en el cual El sistema a modelar se considera un proceso de Markov, con parámetros observables a partir de los cuales se determinan los parámetros ocultos.

INTELIGENCIA ARTIFICIAL: con este término pretende agruparse el conocimiento con el cual es posible asignar capacidad de raciocinio a una máquina creada por el ser humano, su cumplimiento se basa en la búsqueda del cumplimiento de estados requeridos para responder a unas posibles acciones posibles, empleando conceptos como: Algoritmos genéticos, Redes neuronales artificiales o el razonamiento mediante una lógica formal análogo al pensamiento abstracto humano.

MAPEO: corresponde al planteamiento de la relación de un conjunto de datos entre dos espacios de trabajo diferentes

MÉTRICA: Definida por el Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) como una medida cuantitativa del grado en que un sistema, componente o proceso posee un atributo determinado.

RANGO DINÁMICO: Define la cantidad de señales presentes en un objeto, posibles de captar con un dispositivo de registro.

TEOREMA “NO FREE LUNCH”: En la terminología matemática refiere al hecho que una posible solución a un problema no está exenta de problemas, se definen dos áreas de aplicación del concepto: una en aprendizaje de máquina y la otra en el área de optimización.

INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presenta la motivación y los objetivos de esta tesis. Inicialmente, con el fin de entender mejor su relevancia, se describe brevemente el marco conceptual dentro del cual se realiza el trabajo que conduce a los resultados aquí presentados.

1 ANTECEDENTES

El movimiento humano y los procesos inherentes a él, son temática de investigación desde tiempos remotos, siendo atribuidos los primeros aportes a Aristóteles[1]. Sin embargo, es durante el Renacimiento cuando se plantean las bases matemáticas, obtenidas a partir de los trabajos de investigadores como Galileo Galilei, René Descartes y Giovanni Borelli entre otros[1],[2], empleadas en la actualidad durante su análisis.

Sin embargo, a pesar del valor de las contribuciones originadas en el Renacimiento, el conocimiento reflejado en ellas en la mayoría de los casos corresponde a una visión parcial, debida a la notable tendencia hacia el trabajo concentrado en un área, sin considerar la interdisciplinariedad. Convirtiéndose los trabajos de Guillaume Duchenne y los hermanos Weber, en pioneros al involucrar múltiples disciplinas y apoyarse en la disponibilidad de nuevos equipos, complementando de esta manera el conocimiento obtenido previamente.

Las contribuciones anteriores preparan el ambiente propicio para la aparición de trabajos de relevancia como los desarrollados por Jules E Marey & Edward Muybridge y Charles, Robert, Jean & Pierre Ducroquet [2][3].

Constituyéndose en las bases científicas empleadas en la actualidad para el análisis del movimiento y otros fenómenos de naturaleza fisiológica, dando origen a una amplia diversidad de líneas de trabajo y conocimientos agrupados de manera general bajo el concepto denominado como biomecánica.

El interés en el estudio del movimiento humano a nivel mundial, se origina en múltiples factores, siendo uno de ellos, el creciente número de personas con dificultades en su movilidad[4], para el caso colombiano de acuerdo a los registros oficiales el 2% (877.558) de la población presenta alguna discapacidad y aproximadamente el 51% (445.097) tienen discapacidades asociadas al movimiento [5] debido esto a[4][6]:

- Problemáticas médicas,
- envejecimiento,
- accidentes, entre otros aspectos.

Siendo necesario tomar medidas a fin de facilitar la obtención de una calidad de vida a estas personas, mejorando las instalaciones para su movilidad, a través del conocimiento de la biomecánica, la cual permite:

- Generar recomendaciones orientadas a reducir el impacto del entorno sobre el ser humano[7][8]
- Determinar de manera temprana la presencia de patologías[9][10][11], como el caso ilustrado en la figura 1
- Diseñar protocolos de seguridad y/o salud ocupacional[12][13].

Figura 1. Valoración de Paciente con Enfermedad de Parkinson



Fuente[9]

Gracias a la versatilidad de su cuerpo, el ser humano es capaz de realizar una amplia variedad de movimientos, entre los cuales uno de los más analizados corresponde al desplazamiento entre dos puntos, denominado como marcha[7][14][15], correspondiente este al mecanismo básico de locomoción del ser humano.

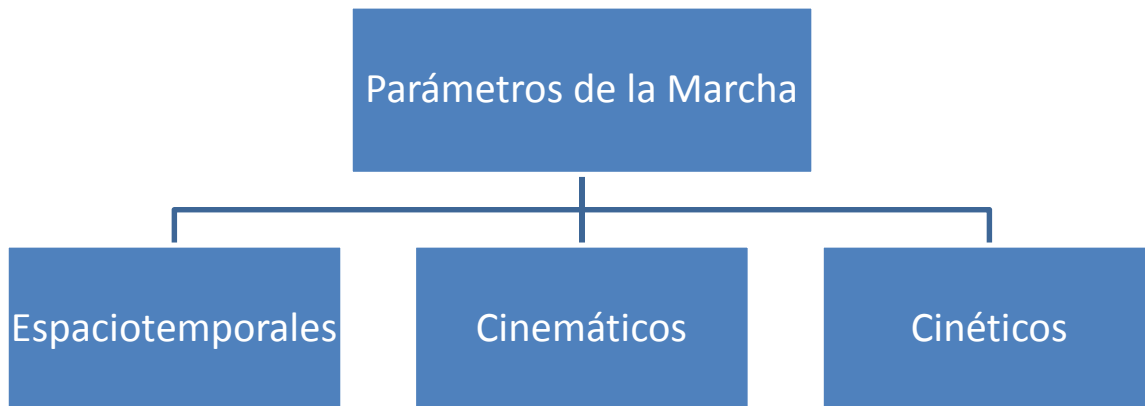
El análisis de la marcha es de utilidad para una amplia gama de aplicaciones[2][12][16], entre las cuales es posible señalar:

- el diagnóstico temprano de patologías[2][15][17],
- la selección del tratamiento a aplicar en pacientes con enfermedades neuro-musculo-esqueléticas[9][15][17],
- la valoración biomecánica deportiva[2][7],
- el análisis ergonómico[10][13], [18]
- el desarrollo de ayudas técnicas[19][20],
- la evaluación de riesgo en actividades físicas [8][12]
- el estudio general de la biomecánica [1][10].

Las investigaciones relacionadas se enmarcan de manera general bajo la denominación notada como análisis de movimiento.

Durante el proceso de análisis es preciso considerar numerosos factores, siendo usual la utilización de un protocolo a fin de obtener los parámetros de interés, dependientes del objeto de estudio, de forma confiable y eficaz [7][21][22]. Para el caso de la marcha, dichos parámetros se presentan en la figura 2 de acuerdo a la clasificación presente en Villa, Gutiérrez & Pérez [7].

Figura 2. Parámetros considerados en el análisis de marcha



Fuente Adaptación a partir de Villa, Gutiérrez& Pérez[7]

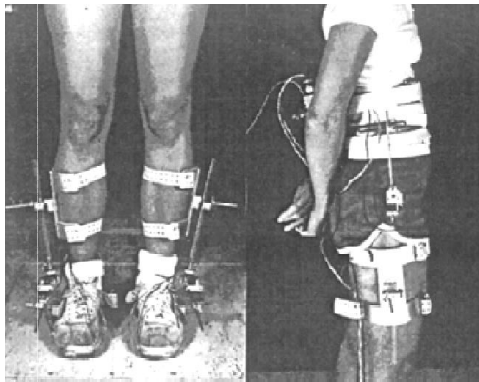
Durante la adquisición de información acerca de los fenómenos ocurridos durante el movimiento es posible emplear[1][7][23]:

- Modelos biomecánicos [10][11][20][24][25][26].
- La medición y comparación con patrones definidos como “normales” mediante técnicas como la videogrametría/cinematografía [27][28][29][30][31], acelerometría[8][32], dinamometría[7][14][33].
- El seguimiento del movimiento con sensores[34][35][32].
- La simulación virtual[36][37], entre otros.

Obteniendo con su uso consideraciones acerca del movimiento en análisis.

Durante la adquisición, diversos trabajos han documentado la influencia sobre el movimiento, ocasionado por las herramientas y técnicas basadas en el contacto directo con la persona en valoración [1][7][12][16][23][29][30], las cuales limitan los movimientos y alteran la información del movimiento[1][23], es posible observar un ejemplo de las limitaciones en la medición de parámetros cinemáticos reales dadas las restricciones generadas por el dispositivo, en la figura 3.

Figura 3. Medición de parámetros cinemáticos



Fuente[23]

Dada la relevancia de dicha influencia y la disponibilidad de nuevas técnicas y herramientas de adquisición de información, resultado del proceso evolutivo de la investigación de la marcha, se recomienda la utilización de técnicas sin contacto directo con la persona en valoración[2][9][31][38][39].

Entre las posibles opciones, se encuentran:

- Plataformas dinamométricas,
- videogrametría/cinematografía

La videogrametría es considerada como la técnica adecuada para superar la limitación presentada anteriormente y las limitaciones correspondientes a la instalación de las plataformas dinamométricas[7][12][14][16][32][40][41]..Sin embargo durante su uso se hace necesario considerar diversas problemáticas a resolver relacionadas con[12][16][31][41][42][43]:

- Los herramientas - los mecanismos de adquisición
- El entorno en el cual se realiza la adquisición

Las dificultades relacionadas con este último aspecto, es uno de los problemas de mayor relevancia en los análisis de la marcha basados en técnicas de registro de imágenes y/o video [12][16][44], especialmente en lo referente al manejo de la variable iluminación[15][41][45].

Respecto a este último aspecto es donde se concentra la relevancia de este proyecto de investigación, el cual pretende establecer el modelo del movimiento presente en la marcha, usando conceptos provenientes de la biomecánica [9][11][14][41] y las técnicas de visión e inteligencia artificial, aun en condiciones de iluminación no favorables, constituyéndose en una herramienta de utilidad en el análisis de la marcha, entre otras aplicaciones.

Como resultado del trabajo de investigación, se diseña un modelo computacional basado en técnicas de inteligencia artificial, capaz de modelar el movimiento de la marcha realizado por el ser humano, a partir del análisis de la información visual registrada en ambientes con iluminación no controlada, buscando la reducción del impacto de dicho aspecto durante el análisis del movimiento.

En el inicio del documento se realiza una revisión de los conceptos relacionados con el movimiento y las variables presentes en él. En la siguiente sección se

revisan los avances en cada una de las áreas relacionadas con el objeto en estudio, los procesos implícitos y las métricas específicas de cada una.

A continuación el documento se concentra en revisar y exponer las técnicas empleadas en cada proceso específico compiladas a partir de la revisión bibliográfica realizada, realizar la valoración objetiva de ellas, seleccionar las técnicas con el mejor desempeño para realizar la integración final orientada a cumplir con la totalidad de los objetivos propuestos y realizar la valoración del sistema final.

Finalmente el documento presenta las conclusiones, recomendaciones y contribuciones del trabajo realizado.

1.1 MOTIVACIÓN Y OBJETIVOS

El presente trabajo surge en el contexto de la facultad de salud de la Universidad Industrial de Santander (UIS), orientándose específicamente a la escuela de fisioterapia y es desarrollado a fin de convertirse en una ayuda para el proceso de valoración de marcha realizado al interior de la misma.

El trabajo se origina como solución a los problemas observados por los profesionales del área médica/paramédica, involucrados en la valoración de la marcha, como es el caso de:

1. Reducir el impacto de las condiciones de iluminación del espacio en el cual se realiza la valoración de la marcha
2. Contar con un mecanismo de clasificación automática de la marcha
3. Reducir la subjetividad del proceso.

Para lo cual se plantean los siguientes objetivos:

OBJETIVOS GENERALES

Desarrollar un modelo descriptor de los patrones de movimiento presentes en la marcha humana a partir del análisis de siluetas adquiridas en ambientes con iluminación no controlada empleando técnicas de inteligencia artificial.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar y modelar matemáticamente los patrones de movimiento presentes en la marcha humana a partir del análisis de siluetas mediante la utilización de modelos ocultos de Markov (HMM).
- Desarrollar un algoritmo destinado a disminuir el efecto adverso de las condiciones de iluminación no controlada durante la adquisición de las siluetas en espacios interiores destinados para la realización de procesos de valoración médica.
- Desarrollar y simular un modelo matemático asociado a los patrones presentes en la marcha humana, a fin de utilizarlo como mecanismo de validación, a partir de conceptos de biomecánica.
- Desarrollar una aplicación informática empleando una técnica de inteligencia artificial destinada a clasificar y determinar las diferencias presentes entre el modelo obtenido de la adquisición de las siluetas y el mecanismo de validación.

1.2 HIPÓTESIS DE LA TESIS

Los anteriores objetivos y el trabajo consiguiente pretenden probar las siguientes hipótesis:

Hipótesis 1: Un modelo automático para la determinación de la marcha analizada en el plano sagital, utilizando la silueta del paciente permite el análisis sin la utilización de marcadores.

Hipótesis 2: Es posible reducir el impacto de las condiciones de iluminación durante el análisis de la marcha, mediante el uso de técnicas de mejora de imágenes.

Hipótesis 3: Demostradas las dos anteriores hipótesis es posible integrarlas en una aplicación informática, convirtiéndose esta en una herramienta de apoyo para el personal vinculado al área de salud.

2 MARCO CONCEPTUAL

El interés en el análisis de los procesos mediante los cuales el ser humano logra desplazarse se remonta a la antigua Grecia y Roma, siendo analizado en los albores de la medicina, reflejado ello en los trabajos de Aristóteles, Hipócrates y Galeno. Sin embargo, luego de la caída del imperio romano, sólo es hasta el Renacimiento cuando se vislumbran, personalidades como: Leonardo Da Vinci, Galileo Galilei y Giovanni Borelli entre otros, planteando el conocimiento básico necesario para su posterior análisis [1][2][3].

Iniciada la revolución industrial y dada la disponibilidad de importantes desarrollos tecnológicos, se logran notables avances en el estudio de la marcha, considerando especialmente la naturaleza meramente observacional presente en épocas previas[2][3], a partir de la cual, se realizaba la descripción de las fases, características y otros parámetros cualitativos de la marcha.

Para mediados del siglo XIX, es posible señalar contribuciones como el primer análisis mecánico del paso humano, realizado por los hermanos Weber, el inicio de la fotografía como técnica de captura del movimiento, las bases conceptuales y técnicas del registro a través de imágenes/video y la dinamometría planteadas por Muybridge, Marey y los hermanos Ducroquet, siendo dichos aportes empleados en la actualidad [2][3] al interior de los laboratorios de Biomecánica.

Los laboratorios de Biomecánica, se establecen formalmente a finales de la II Guerra Mundial, dando un nuevo impulso al interés en el conocimiento de la locomoción humana, tomando como población de estudio a los veteranos de guerra, especialmente la población con amputación de alguno de sus miembros. De su trabajo surgen buena parte de las mejoras y nuevas herramientas para la adquisición de información, como es el caso de técnicas como: electrofisiología,

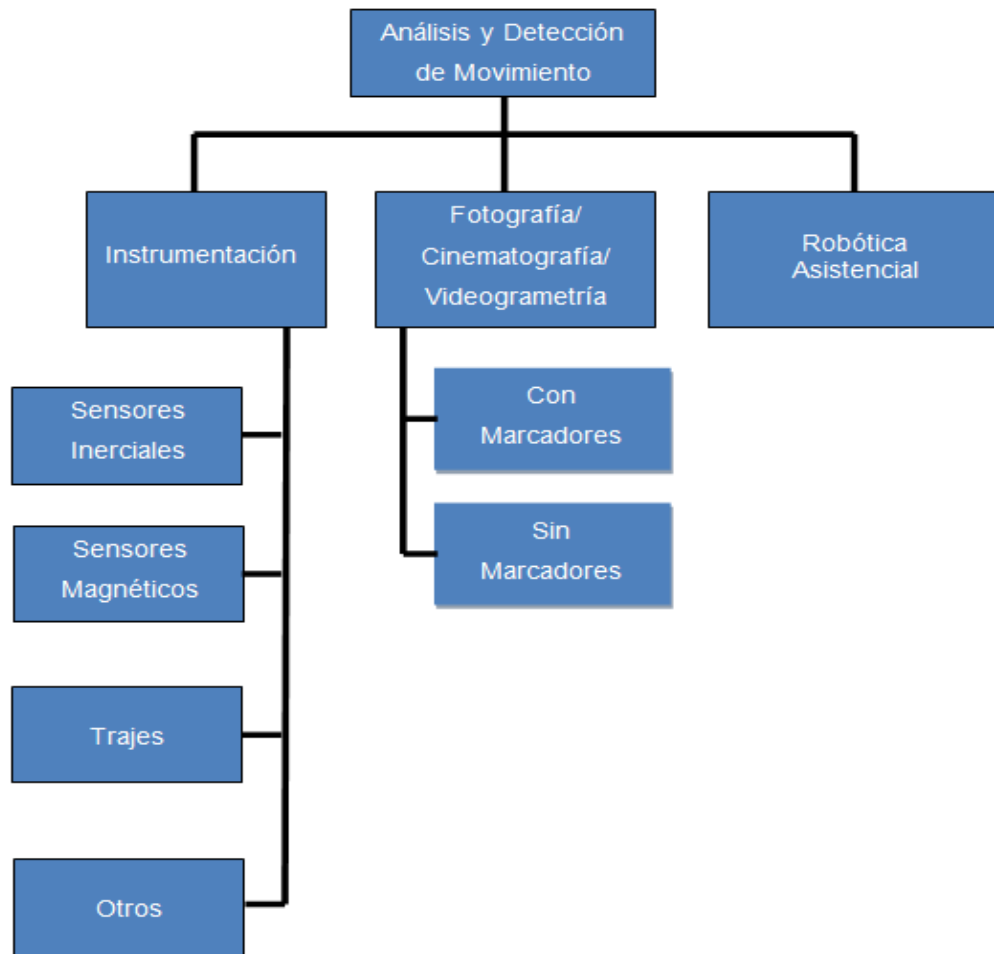
electromiografía, dinamometría, podometría y su combinación a las ya establecidas [1][7][15][18][23][38][46].

En la década de los años 80, Duckworth plantea el análisis automático de la marcha, empleando programas de cómputo como herramientas para el análisis de la marcha[2]. Convirtiéndose en un área de investigación de gran dinamismo[12][17][18][31][46][47][48], dadas sus potenciales contribuciones a campos como: la vigilancia, interacción hombre-máquina y la valoración médica (o deportiva) [7][12][15][16][49][46][50][47], por mencionar algunas [1][23][34][50][51][52].

Las nuevas técnicas y las herramientas de análisis computacional han contribuido de manera significativa al estudio de la marcha[2][7][53], permitiendo la realización de investigaciones muy precisas del mecanismo de locomoción, ya sea en personas sanas o afectadas con patologías o lesiones, en la figura 4 es posible observar las clasificaciones de las técnicas, planteadas por Su [53] al interior del Instituto de Biomédica de Taiwán.

Entre las técnicas presentadas en la figura 4, debido a las limitaciones al movimiento impuestas por las técnicas basadas en el contacto directo con la persona en análisis, la comunidad científica ha intensificado el interés en el desarrollo de sistemas automáticos, capaces de extraer y analizar información a partir de registros visuales (imágenes/video) [12][16][47][46], interés estimulado adicionalmente por el número de aplicaciones potenciales, el costo, características del hardware y la gran cantidad de información embebida al interior de los registros, aun a pesar de las dificultades presentes durante su utilización, tema a discutir de manera posterior.

Figura 4. Técnicas para captura de movimiento



Fuente [53]

2.1 MARCHA

La marcha es comúnmente descrita como la sucesión de pasos, correspondiendo el término paso al movimiento ocurrido durante el contacto del talón de un pie y el contacto del talón del pie contrario[21][40].

Su desarrollo requiere un proceso de repetición y aprendizaje basado en la imitación, a partir del ensayo-error[7][15][21]. El aprendizaje de las destrezas necesarias para la realización del movimiento a lo largo de la vida del ser humano,

se logra a través de un proceso de entrenamiento de la musculatura y las terminales nerviosas a fin de controlar el cuerpo, de manera adecuada[21].

2.1.1 Fases del ciclo de la marcha

Para el estudio y descripción de la marcha, se divide esta en fases, siendo denominadas de manera general[2][19][21]:

1. Apoyo
2. Balanceo

En condiciones normales cada etapa tiene una duración diferente:

- Fase de apoyo: 60% del ciclo
- Fase de balanceo: 40% del ciclo

Existiendo adicionalmente una etapa intermedia denominada doble apoyo, durante la cual, los dos pies tienen contacto con el suelo.

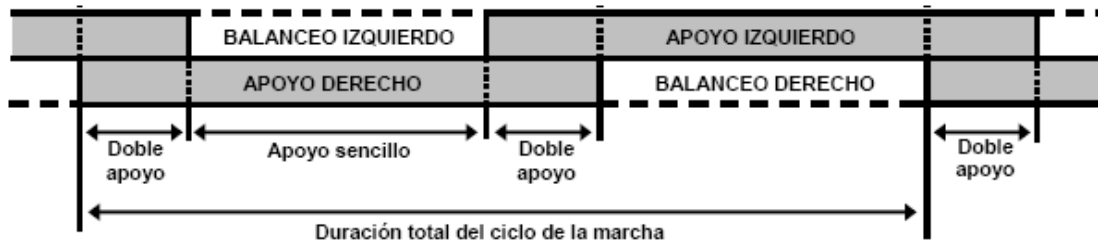
El movimiento se puede describir mediante una serie de etapas, denominadas ciclo de marcha, siendo estas:

- Primer doble apoyo: Los dos pies hacen contacto con el plano de apoyo. El contacto de uno se realiza con el talón, mientras el otro apoya el primer metatarsiano y se dispone a despegar.
- Primer apoyo unilateral: el pie que se apoyaba en el metatarsiano se encuentra en balanceo, el peso del cuerpo recae sobre la extremidad apoyada.
- Segundo doble apoyo: es simétrico al inicial, intercambiando las posiciones de las extremidades inferiores, es decir el pie que inicio el despegue se ubica apoyado en el talón y viceversa.

- Segundo apoyo unilateral: Simétrico al primer apoyo, con cambio de pie.
- Tercer doble apoyo: es similar al inicial, determina el final del ciclo.

El ciclo iniciando con el pie derecho en apoyo se ilustra en la figura 5.

Figura 5. Fases del ciclo de la marcha



Fuente [[19]]

2.1.2 Estadios en el desarrollo de la marcha humana

El proceso de la marcha no es innato en el ser humano, iniciando su aprendizaje en la primera infancia, estando determinada la velocidad del aprendizaje por factores como: los estímulos del medio externo y el estado del sistema nervioso, entre otros [2][21][40].

El proceso de aprendizaje de la marcha en el ser humano, atraviesa por diversos estadios, dando este sus primeros pasos sin caídas, ni apoyos alrededor de los 19 meses [21][40]. Siendo ellos inseguros, vacilantes e irregulares, separando de manera notable los pies y las extremidades superiores del cuerpo, durante su realización, para mejorar su sensación de equilibrio[21].

Para el segundo año se incrementa la velocidad del movimiento y mejora el equilibrio. Entre los 5 y 7 años, el patrón del niño se asemeja al del adulto, obteniendo su patrón de marcha característico, presente en su vida adulta hacia los 9 años[21].

De manera posterior, se presentan variaciones importantes luego de los 60 años o ante la afectación de una enfermedad o accidente con implicaciones de tipo neurológico, presentándose la modificación del patrón, disminuyendo la velocidad y longitud del paso[21][40].

Para el presente trabajo de investigación se considera población adulta cuyo patrón de marcha, está definido de manera clara.

2.1.3 Análisis de la marcha

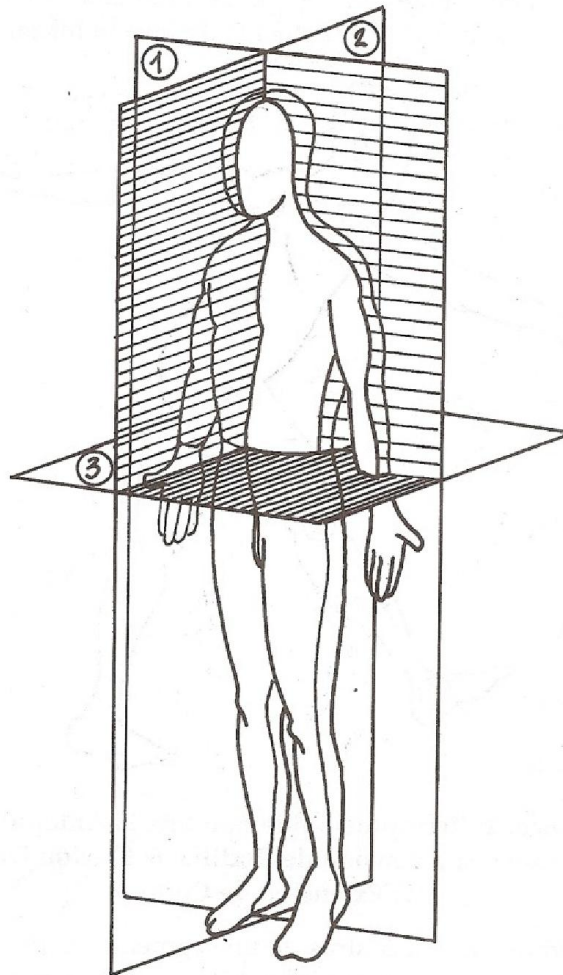
El análisis de la marcha pretende caracterizar el patrón de la persona en valoración, por medio de parámetros cuantitativos y/o cualitativos[7][40], a fin de convertirse en referencia para el diseño de estrategias de rehabilitación, elementos deportivos, valoración clínica, entre otras aplicaciones, sirviéndose de diferentes herramientas de adquisición de información[3].

La marcha humana, puede caracterizarse con diversos parámetros[7][38], siendo fundamentales la definición de variables espacio-temporales, agregando mayor detalle al integrar la información cinemática y cinética e incluyendo medidas de actividad muscular, consumo energético y monitoreo de gasto cardiaco. Los parámetros a considerar dependen del objeto de estudio[38][54][55].

2.1.4 Planos anatómicos de ocurrencia de la marcha

La información para el análisis de la marcha, es posible adquirirla a partir de tres planos anatómicos, ilustrados en la figura 6[56]

Figura 6. Planos anatómicos 1 Frontal. 2 sagital 3 transversal



Fuente [56]

2.1.5 Parámetros de la marcha

Los diversos parámetros de acuerdo a Villa [7] se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Parámetros de la marcha

Parámetros de la marcha		
Espaciotemporales	Temporales	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo en fase de soporte (ms). • Tiempo en fase de balanceo (ms). • Tiempo de soporte (% del ciclo). • Tiempo de balanceo (% del ciclo). • Duración del ciclo o zancada (ms). • Cadencia (pasos/min). • Duración de doble soporte (ms). • Porcentaje de doble soporte (% ciclo).
	Espaciales	<ul style="list-style-type: none"> • Largo del paso (mm). • Longitud del ciclo o zancada (mm). • Ancho del paso (mm).
	Espacio-temporales	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidad (m/s). • Velocidad de balanceo (m/s). • Velocidad media (m/s).
Cinemáticos	Plano frontal	<ul style="list-style-type: none"> • Oblicuidad de la pelvis. • Aducción-abducción de cadera.
	Plano sagital	<ul style="list-style-type: none"> • Basculación de pelvis. • Flexo-extensión de cadera. • Flexo-extensión de rodilla. • Dorsiflexión-plantiflexión de tobillo.
	Plano transversal	<ul style="list-style-type: none"> • Rotación pelvis. • Rotación interna-externa de cadera. • Angulo de progresión del pie.
Cinéticos		<ul style="list-style-type: none"> • Gráficas de momentos en las articulaciones (generalmente en el plano sagital). • Gráficas de potencias en las articulaciones (generalmente en el plano lateral). • Fuerza de reacción antero-posterior. • Fuerza de reacción medio-lateral. • Fuerza de reacción vertical. • Gráficas del centro de presión antero-posterior.

Fuente[7]

2.1.6 Valoración de la marcha

A lo largo del proceso evolutivo del hombre, la valoración de la marcha, se ha realizado de diversas maneras, siendo empleados en ella los avances más notables de cada época histórica[1][3][23], iniciando con la observación y palpación directa pasando por cintas métricas y cronómetros llegando a dispositivos como: cámaras de video, cámaras fotográficas, dinamómetros, acelerómetros, sensores de ultrasonido, goniómetros entre otros[3][7][40], todos ellos implícitos a su vez en las técnicas empleadas actualmente en su análisis[3][15][54].

Durante la valoración se ha hecho evidente la necesidad de liberar a la persona bajo análisis de limitantes al movimiento, impuestas por la técnica empleada en el registro del proceso[2][7][23][31][57]. Siendo planteados como solución los sistemas de adquisición de información de tipo visual, a pesar de las problemáticas implícitas en su utilización[9][12][15][31][43][58][59][60][61], las cuales se revisan en capítulos posteriores.

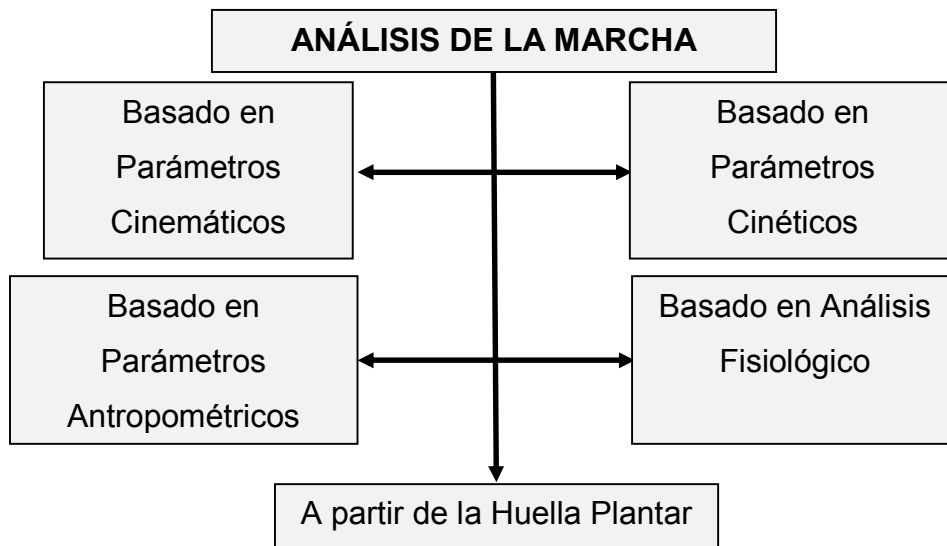
3 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1 EVOLUCIÓN DEL ANÁLISIS DE LA MARCHA

En sus inicios, la valoración de la marcha se realiza a partir de técnicas basadas en la observación directa y la palpación de los músculos[1][3][12], viéndose sujeta a un alto grado de subjetividad, relacionado directamente con la experiencia del personal médico y paramédico encargado del estudio. De manera posterior y gracias al desarrollo de nuevos instrumentos y métodos más precisos, los estudios logran mayores niveles de detalle[8][32] [62].

En la actualidad durante el análisis de la marcha es posible emplear diversos métodos [2][7][40], su clasificación de acuerdo a los parámetros considerados, sugerida por Collado (2002) se ilustra en la figura 7.

Figura 7. Métodos para análisis de la marcha



Fuente [2]

Durante la utilización de los métodos ilustrados en la figura 7, se incluyen los computadores como herramienta asistencial durante el proceso investigativo[3],

dentro de los sistemas de captura y registro de información [2][23][1][58][63] y se inicia una subárea orientada a la realización del análisis de movimiento de manera automática [7][8][15][40][62][52] con el uso de programas de cómputo a partir de conceptos tales como la inteligencia artificial[15][8][64][55][65], área de discusión en apartes posteriores, dada su utilización en el desarrollo del presente proyecto de investigación.

3.2 MODELAMIENTO DE LA MARCHA

Los fenómenos relacionados con el movimiento humano, se modelan de manera inicial con sistemas de tipo lineal[66][26], sin embargo, conforme se profundiza en el detalle de su realización[67][66][54], la complejidad de los modelos necesarios se hace evidente[68][26][37][69].

En la actualidad, el modelamiento de la marcha puede hacerse de manera analítica o estadística[70][71], siendo los modelos analíticos a su vez subdivididos en modelos mecánicos simplificados, modelos basados en la dinámica inversa y modelos basados en dinámica directa [66][54][15],[67][26], por otro lado los modelos estadísticos se subdividen en basados en modelos o basados en apariencias[26][72][71].

3.2.1 Modelamiento mediante modelos analíticos

Los modelos analíticos se categorizan de acuerdo a tres subclases: modelos mecánicos simplificados, modelos dinámicos inversos y modelos dinámicos directos [67][70].

Los modelos mecánicos simplificados[26] [67] son la idealización del movimiento, entre ellos es posible ubicar los péndulos invertidos y los modelos pasivos, su utilización permite predecir algunas características del movimiento[10].

Los modelos dinámicos inversos, se obtienen del cálculo de las fuerzas entre segmentos y momentos, a partir de las medidas cinemáticas y las fuerzas y momentos externos[70].

Los modelos dinámicos directos, se obtienen de las ecuaciones de cuerpo rígido del movimiento analizadas durante un periodo de tiempo dado a fin de determinar la cinemática como consecuencia de la aplicación de las fuerzas entre segmentos y momentos, de acuerdo a las condiciones iniciales[22].

3.2.2 Modelamiento mediante métodos estadísticos

Su utilización parte de la base de la existencia [73]un patrón de marcha estándar, el cual es posible considerar patrón de comparación, y el hecho que el patrón tiende a minimizar el consumo energético[70]. Entre los métodos que hacen inferencias estadísticas a partir de datos de marcha, es posible incluir los [41]de la marcha, el análisis de componentes principales y los clasificadores pertenecientes a la Inteligencia Artificial[67][8].[73]

Los métodos estadísticos realizan inferencias a partir de enormes cantidades de datos, generados por el sistema de análisis, pero no todos tienen la capacidad de modelar la dinámica de la marcha [67][72].

Entre los modelos estadísticos es posible encontrar[64][8].[73]: Redes neuronales artificiales, colonia de hormigas, lógica difusa y modelos ocultos de Markov, a continuación se hará énfasis en este último[72][8].

3.2.2.1 Modelos Ocultos de Markov (HMM-Hidden Markov Models)

De acuerdo a la teoría estadística, un proceso de Markov, es un fenómeno aleatorio dependiente del tiempo, en caso que el proceso de Markov tenga un conjunto discreto de estados es denominado cadena de Markov. Si el proceso solo

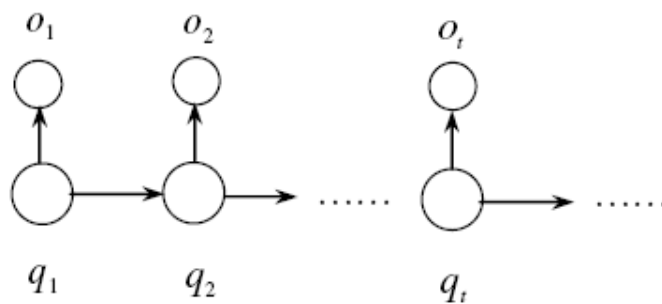
puede ser conocido a través de las observaciones, se constituye en un Modelo Oculto de Markov.

El concepto es planteado en los años 60 por Baum y Petrie [74][75][76], siendo de gran utilidad gracias a su versatilidad, siendo usado en los campos de investigación relacionados con el reconocimiento del habla[77], reconocimiento de caracteres y movimientos[8][55][73][78] clasificación de secuencias[79][80] y análisis de texturas entre otros[76][79][80].

El HMM (O, q) se define como una secuencia de observaciones $O = (o_1, o_2, o_3, \dots, o_T)$ y una secuencia de estados $q = (q_1, q_2, q_3, \dots, q_T)$ con propiedades de Markov[81] generada por la secuencia de estados, tal como es ilustrado en la figura 8, donde la observación o_t es generada de manera independiente por el estado q_t y la secuencia de estados satisface la condición expresada en la ecuación (1)[74]:

Figura 8. HMM

$$P(q_t | q_{t-1}, q_{t-2}, \dots, q_1) = P(q_t | q_{t-1}) \quad 2 \leq t \leq T \quad (1)$$



Fuente [74]

Siendo la definición estricta de HMM determinada por el cumplimiento de dos condiciones, expresadas en las ecuaciones (2) y (3)[74][8]:

$$P(o_t | q_t, q_{t-1}, \dots, q_1, o_{t-1}, \dots, o_1) = P(o_t | q_t) \quad 1 \leq t \leq T \quad (2)$$

$$P(q_t | q_{t-1}, q_{t-2}, \dots, q_1, o_{t-1}, o_{t-2}, \dots, o_1) = P(q_t | q_{t-1}) \quad 2 \leq t \leq T \quad (3)$$

Siendo posible definir el HMM mediante la tripleta planteada en la ecuación (4)

$$\lambda = (\pi, A, B) \quad (4)$$

Donde π describe el vector de la distribución inicial descrita en la ecuación (5), A es la matriz de probabilidades de transición de estados, planteada en la ecuación (6) y $B=b_i(x)$ es una matriz de emisión expresada en la ecuación (7), mediante la cual se señala la probabilidad de emisión del símbolo x desde el estado oculto i. la matriz B también corresponde a la distribución de salida del modelo [8][74][81].

$$\pi = [\pi_1, \pi_2, \pi_3, \dots, \pi_N] \quad \pi_i = P(q_o = i) \quad (5)$$

$$A = [a_{ij}] \quad a_{ij} = P(q_{k+1} = j | q_k = i) \quad (6)$$

$$B = [b_j(O_t)] \quad b_j(O_t) = P(O_t | q_t = j) \quad (7)$$

Con $i, j \in \{1, 2, \dots, N\}$, $t \in \{1, \dots, T\}$. O_t puede ser discreto $O_t = l$, con $l \in V = \{1, 2, \dots, M\} \subset N$ o es continuo $O_t \in R$

En general, a cada instante de tiempo t, el modelo esta en uno de los estados q_i . Su salida entrega una salida con un valor de probabilidad $b_j(O_k)$ y pasa al estado q_j con probabilidad a_{ij} . La matriz de estados de transición representa la estructura del HMM[8]

3.2.2.2 Estructura de los HMM

Los HMM se pueden ubicar en dos categorías, de acuerdo a las restricciones de los elementos de la matriz de transiciones de estados, siendo las posibles clasificaciones, las siguientes[76]:

- Modelos ergódicos: No tienen restricción de transición en los elementos de la matriz A. Todos los estados pueden alcanzarse desde cualquier estado en una transición
- Modelos izquierda-derecha: Este modelo presenta algunas propiedades como es el caso de :
 - La primera observación es producida cuando la cadena de Markov se ubica en el primer estado.
 - La última observación es generada cuando la cadena Markov se ubica en el estado final
 - No hay posibilidad de retornar a un estado precedente

Entre los inconvenientes de los modelos izquierda-derecha podemos citar la imposibilidad de contar con una secuencia de observaciones con las cuales entrenar el HMM, debido esto a la naturaleza transitoria de los estados del modelo, permitiendo obtener solo una pequeña cantidad de observaciones de cualquier estado[76].

3.2.2.3 Implementación de un HMM

Cualquier evento físico real, puede ser caracterizado mediante un modelo estocástico, siendo las observaciones, las entradas obtenidas del proceso[8][75],[74].

Previamente a la creación de un HMM es preciso realizar una serie de fases

- Recopilar los datos del fenómeno.
- Crear un conjunto de secuencias de entrenamiento

Creada la estructura, se pasa a su entrenamiento y uso en la detección del evento [76],[8]:

- Fase de entrenamiento: Se debe construir un HMM para cada actividad a ser modelada ($w=1,2,\dots,W$) donde w representa la actividad.

Usar las observaciones del conjunto de entrenamiento para estimar los parámetros de cada acción, ajustando de manera iterativa los parámetros del modelo $\lambda = (\pi, A, B)$

- Fase de detección: Dado el conjunto de modelos y las medidas del fenómeno físico O representado por cada uno, el objetivo es extraer el modelo que maximice la función de probabilidad de ocurrencia, dado el modelo expresado en la ecuación (8)

$$P_w = P(O|\lambda_w). \quad (8)$$

Para cada secuencia presente en el conjunto de prueba, caracterizado por una secuencia de observaciones $O = (o_1, o_2, o_3, \dots, o_T)$, la probabilidad de ocurrencia se calcula para cada modelo de actividad. La observación desconocida O se clasifica de acuerdo a la ecuación (9)

$$w^* = \arg \max_{1 \leq w \leq W} P_w \quad (9)$$

3.2.2.4 Aplicación de los HMM

Los HMM se aplican en tres tipos de problemas[74].

1. La evaluación de la probabilidad: Conocida la secuencia $O=(o_1,o_2,o_3,\dots,o_T)$ y el modelo λ ,
¿Cómo obtener la probabilidad de la secuencia de observación $P(O|\lambda)$ conocido el modelo?
2. La secuencia de estados adecuada: Dada la secuencia $O=(o_1,o_2,o_3,\dots,o_T)$ y el modelo λ
¿Cómo seleccionar la secuencia de estados $q = (q_1, q_2, q_3,\dots, q_T)$ que es adecuada?
3. Estimación de parámetros:
¿Cómo ajustar los parámetros del modelo $\lambda = (\pi, A, B)$, para maximizar $P(O|\lambda)$?

El concepto básico de HMM es de frecuente uso en el procesamiento de señales [82], la visión artificial[78], las biociencias[55],[83], el control y el análisis de series temporales [82],[80][79], logrando a través de su uso resultados interesantes en cada una de esas áreas.

EL uso de los HMM en el estudio del movimiento puede ubicarse en la determinación de modelos a partir de la posición de los miembros del cuerpo como es el caso de las manos[65], cadera[55]y el movimiento del cuerpo entero[83],[78][55].

Estando buena parte de los trabajos relacionados orientados a predecir las acciones a desarrollar por la persona en un entorno[84][39][8][73]o a determinar la realización de actividades sospechosas e identificación de sospechosos[65][84].

3.2.2.5 Consideraciones

A fin de construir un HMM, hay que considerar los siguientes aspectos_[8][76].

- Dimensión del vector de observación.
- Tipo de la densidad de la probabilidad de las observaciones en un estado dado
- Tipo y estructura del HMM empleado.
- Numero de estados.

3.3 INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Con la consolidación de los computadores como herramienta asistencial durante el proceso investigativo[3], dentro de la Biomédica, rápidamente se incluyen dentro de los sistemas de captura y registro de información[1] [2][23][58][63] e inicia una área orientada a la realización del análisis de movimiento de manera automática [7][8][15][40][52][62] con el uso de programas de cómputo a partir de secuencias de entradas y conocimiento almacenado[8] [15][55][64][65].

Con el surgimiento de las computadoras en la década de los cincuenta, se da origen a una disciplina orientada a emular la inteligencia humana y modelar el entorno, denominada “inteligencia artificial - (IA)”[12][62][85] [86][87][88].

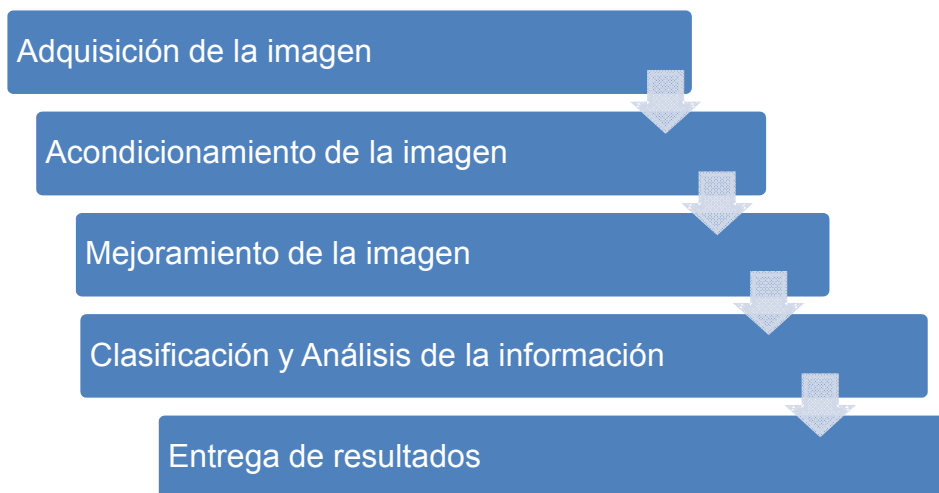
Siendo esta, un campo del conocimiento de gran actividad gracias a los desarrollos tecnológicos actuales[8][15][46][57][73][65][84], siendo algunas de sus líneas evolutivas inspiradas en sistemas biológicos[63][64].

Adicionalmente a los sistemas básicos, se han planteado sistemas híbridos capaces de modelar e interpretar sistemas altamente complejos, siendo aplicados en diversidad de entornos, como es el caso de los siguientes: minería de datos, procesamiento de lenguaje natural, robótica, videojuegos, entre otros.

3.3.1 Visión Artificial

Corresponde a un subárea de la inteligencia artificial, la cual pretende lograr que el computador comprenda información contenida en una imagen o video. Para lograrlo y hacer de ella una proceso de utilidad en el campo académico, investigativo e industrial, deben realizarse una serie de procesos, ilustrados en la figura 9.

Figura 9. Procesos empleados en la visión artificial



3.3.1.1 Procesos de la visión artificial

Posterior a la adquisición de la imagen, se realiza una serie de procesos, destinados a reducir los niveles de degradación presentes en la imagen[60][89] debidos a variaciones en las condiciones propias del evento bajo análisis, la iluminación, el instrumento de captura y las fuentes de ruido propias del ambiente [59][89][90], convirtiéndose en causales de pérdidas de información[43][60][89][90] los procesos recomendados son descritos a continuación.

A. Acondicionamiento de la imagen

Se realiza a fin de reducir el efecto de los defectos presentes en ella[61], entre los cuales es posible encontrar[61] [89][91][92][93].

- Defectos en el sistema de adquisición.
- Pérdida de datos durante la captura de la imagen.
- Corrupción de la información debido a los medios de distribución.
- Distorsiones de escala, fallas o variaciones en la iluminación empleada durante la adquisición de la imagen.

B. Mejoramiento de la imagen

Posteriormente al acondicionamiento y de acuerdo al objetivo del estudio, se involucran técnicas de mejoramiento a fin de resaltar características de interés, como[92][93]:

- Redistribución de la información estadística de la imagen.
- Muestreo en un espacio de color diferente.
- Filtrado.

Previamente a la clasificación de la información se sugiere realizar la transformación de la imagen a un dominio adecuado para el trabajo a desarrollar [92][89][93].

Considerando como premisa la eliminación de información redundante, sin que ello implique pérdidas de información, siendo de común utilización el análisis de componentes principales (PCA), Descomposición en valores singulares (SVD) y sus variantes [89][92][93][94].

C. Clasificación y análisis

La parte correspondiente a la clasificación y análisis de la imagen, tiene como algunas de sus tareas:

- La estimación de diferencias entre píxeles adyacentes a fin de determinar la presencia de características [45][51][89].
- La clasificación y/o determinación de comportamientos específicos [12][18][91].

Durante el uso de las imágenes a fin de reducir el impacto en la información, se emplean técnicas de normalización, umbralización, definición de contornos y análisis armónico, de acuerdo a las características de la imagen y el estudio [8],[43]. Durante su aplicación se hacen mediciones del efecto causado sobre la información de acuerdo a métricas [95], tema a discutir en el siguiente aparte.

3.3.2 Métricas de comparación.

El manejo de señales y el efecto de los mecanismos usados en ellas debe determinarse mediante métricas, siendo clasificadas de acuerdo al enfoque como [95]:

- Subjetivas: parten del concepto de una persona u operario, pretendiendo incrementar su objetividad a partir de las recomendaciones elaboradas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT).
- Objetivas: determinan la variación presente en una imagen a partir de expresiones matemáticas en el dominio bidimensional o tridimensional, de imágenes o videos

Las métricas subjetivas u objetivas se pueden usar como patrón de comparación respecto a una referencia o sin considerarla[95], como se ilustra en

la tabla 2.

Tabla 2. Clasificación de las métricas

	SUBJETIVAS	OBJETIVAS
CON COMPARACIÓN	Double Stimulus (Ds)	Full Reference
SIN COMPARACIÓN	Single Stimulus Continuous Quality Scale (SS-CQS)	No-Reference

Fuente[95].

Debido a sus características, en ingeniería son utilizados los métodos objetivos, entre los cuales se encuentran medidas como [92][93]:

- Error medio cuadrático, expresado mediante la ecuación (10)

$$MSE = \frac{1}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} [I(x,y) - K(x,y)]^2 \quad (10)$$

Donde I y K son imágenes a comparar de tamaño m* n.

- Relación Señal-Ruido, expresada mediante las ecuaciones (11) y (12)

$$SNR = \frac{P_{signal}}{P_{noise}} = \left(\frac{A_{signal}}{A_{noise}} \right)^2 \quad (11)$$

$$SNR_{dB} = 10 \log_{10} \left(\frac{A_{signal}}{A_{noise}} \right)^2 = 20 \log_{10} \left(\frac{A_{signal}}{A_{noise}} \right) \quad (12)$$

- Pico de la relación señal-ruido, expresado mediante la ecuación (13)

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{max^2}{MSE} \right) = 20 \log_{10} \left(\frac{max}{\sqrt{mse}} \right) \quad (13)$$

Donde máx. corresponde al máximo valor del pixel, los valores típicos y preferibles de la métrica se encuentran entre los 30 y 59 dB, sin embargo puede ser mayor.

3.3.2.1 Métricas usadas en el procesamiento de señales

Las métricas anteriormente expuestas son las más utilizadas [95], sin embargo a pesar de su utilidad en diversos campos del procesamiento de señales, en el caso del procesamiento de imágenes sus mejores resultados se obtienen al analizar distorsiones no estructuradas, debido a su capacidad de análisis píxel por píxel. En la tabla 3 se recogen las métricas empleadas en el procesamiento de imágenes[95][96][97].

Tabla 3. Métricas usuales en procesamiento de imágenes

Error Medio Cuadrático (MSE)	$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^N (x_{j,k} - x'_{j,k})^2$
Pico Relación Señal-Ruido (PSNR)	$PSNR = 10 \log \frac{(2^n - 1)^2}{MSE} = 10 \log \frac{255^2}{MSE}$
Correlación Cruzada Normalizada (NK)	$NK = \frac{\sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^N x_{j,k} * x'_{j,k}}{\sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^N x_{j,k}^2}$
Diferencia Promedio (AD)	$AD = \frac{\sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^N (X_{j,K} - X'_{j,k})}{MN}$
Contenido Estructural (SC)	$SC = \frac{\sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^N x_{j,k}^2}{\sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^N x'_{j,k}^2}$
Diferencia Máxima (MD)	$MD = \text{Max}(x_{j,k} - x'_{j,k})$
Error Medio Cuadrado Laplaciano	$LMSE = \frac{\sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^N [O(x_{j,k}) - O(x'_{j,k})]}{\sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^N [O(x_{j,k})]^2}$ $O(x_{j,k}) = x_{j+1,k} + x_{j-1,k} + x_{j,k+1} + x_{j,k-1} - 4x_{j,k}$
Error Absoluto Normalizado (NAE)	$NAE = \frac{\sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^N x_{j,k} - x'_{j,k} }{\sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^N x_{j,k} }$

Fuente [97], [95][96]

Usándose como medidas complementarias para determinar la calidad de las

imágenes, indicadores similares a los observados en el sistema de visión humana, como es el caso del Índice de Similitud Estructural (SSIM), constituido como una función dependiente de la luminancia, el contraste y las características de bajo nivel de las imágenes, expresada mediante las ecuaciones (14) y (15) y la métrica de calidad de video (VQM)[95],[97][61][96],

$$\text{SSIM}(X, \hat{X}) = f(l((X, \hat{X}), c(X, \hat{X}), s(X, \hat{X})) \quad (14)$$

$$\text{SSIM}(X, \hat{X}) = \frac{(2\mu_X\mu_{\hat{X}}+C_1)(2\sigma_{X\hat{X}}+C_2)}{(\mu_X^2+\mu_{\hat{X}}^2+C_1)(\sigma_X^2+\sigma_{\hat{X}}^2)} \quad (15)$$

Donde $C_1 = (k_1, L)^2$, $C_2 = (k_2, L)^2$, L es el rango de intensidades de los píxeles, K_1 y K_2 son constantes menores a 1.

Adicionalmente, existen otros indicadores como es el caso del índice de correlación de Pearson y el radio OR[95], los cuales no se consideraran en el documento.

3.3.2.2 Métricas usadas en inteligencia artificial

En el caso de los clasificadores basados en inteligencia artificial se usan métricas basadas en la cantidad de aciertos y fracasos durante el proceso de clasificación[98][99][100], dando paso a conceptos como la razón de verdaderos positivos (TPR), conocida como sensibilidad definida por la ecuación (16)[99][98]

$$TPR = \frac{TP}{(TP + FN)} \quad (16)$$

Donde TP corresponde a la cantidad de positivos verdaderos, FN corresponde a los falsos negativos y (TP+FN) es la cantidad de positivos en la muestra de datos

Por otro lado, es posible considera la razón de falsos negativos (FNR), definida mediante la ecuación (17)[99]

$$FPR = \frac{FP}{(FP + TN)} \quad (17)$$

Donde FP corresponde a la cantidad de falsos positivos, TN es la cantidad de negativos reales y (FP+TN) es la cantidad de negativos existentes en los datos.

Adicionalmente la razón de falsos positivos (FPR) está relacionada con la especificidad a través de la ecuación (18)[100]

$$FPR = (1 - \text{especificidad}) \quad (18)$$

Siendo la especificidad, también denominada razón de verdaderos negativos (TNR), descrita por la ecuación (19)[100]

$$TNR = \frac{TN}{(TN + FP)} \quad (19)$$

Donde TN, es la cantidad de negativos verdaderos y (TN+FP) es la cantidad de negativos presentes en el conjunto de datos.

Como un aspecto adicional se contempla a continuación el efecto causado por el movimiento sobre la imagen.

3.4 Problemas presentes en el procesamiento de imágenes

Sin embargo, durante el proceso de información visual, se presentan problemas y deficiencias en la información debidas principalmente a los mecanismos de adquisición y las condiciones de iluminación del entorno.

3.4.1 Fallas de iluminación

Son de común ocurrencia, debido a la dificultad de controlar las condiciones de iluminación ambiental, se convierte en un problema a superar a fin de lograr un análisis exitoso y resultados útiles en múltiples aplicaciones[101][102]. Como herramientas para mejorar la capacidad de interpretación o percepción del operador humano de la información contenida en una imagen del mundo real, capturada mediante equipos de adquisición (cámaras digitales, tabletas digitalizadoras, programas para el manejo de imágenes y herramientas web), de sensibilidad inferior a la presente en el ojo humano, se usan las técnicas de mejoramiento de la iluminación a fin de reducir el impacto del amplio rango dinámico presente en el entorno donde se realiza la adquisición[103][104][102].[105]

Las técnicas de mejoramiento se pueden clasificar de acuerdo al entorno de aplicación dentro de la imagen, estableciéndose los algoritmos de tipo local y los de tipo global[106]. De acuerdo a dicha clasificación dentro de la primera categoría es posible ubicar los algoritmos multiscale retinex (MSR), multiscale retinex con restauración de color (MSRCR), máscara de desenfoque-(USM), algoritmo de vecindario adaptivo e integrado para mejoramiento no lineal (AINDANE), filtrado holomórfico y otros algoritmos basados en la convolución. En la segunda categoría se ubican algoritmos como auto niveles (AL), ajuste de la intensidad, normalización de componentes, ecualización de histograma (HEQ). Corrección Gamma (GC) y otros algoritmos capaces de mapear un pixel de entrada a un nuevo espacio de color[106].

Otra clasificación usada se basa en el dominio en el cual se emplean, desglosándose en: métodos en el dominio espacial y métodos del dominio de la frecuencia.

En el capítulo siguiente se valoran las técnicas existentes a fin de solucionar el problema de la iluminación.

3.4.2 Degradación presente en imágenes debida a desenfoque (Blur)

El movimiento de la cámara o el objetivo es causa de gran parte de las pérdidas de información en las imágenes, siendo imposible determinar el mecanismo de desenfoque y por tanto el mecanismo apropiado para la restauración adecuada de la imagen[60][90][93].

Una imagen afectada por degradaciones se representa mediante la ecuación (20) [60][90]

$$g = f \otimes p + n \quad (20)$$

Dónde \otimes representa el operador de convolución, f es la imagen a recuperar (sin degradación), p se denomina kernel de degradación y n es el ruido, siendo denominado problema de deconvolución de la imagen a la intención de recuperar f a partir de g [60][61][90].

El fenómeno de desenfoque es clasificado en dos categorías[90][60]:

- Desenfoque por movimiento: Ocasionado al intentar registrar un evento manipulando el tiempo de abertura del obturador del mecanismo de adquisición, se presenta en eventos ocurridos a alta o baja velocidad

- Desenfoque global: Se obtiene por énfasis en una parte de la imagen, se encuentra especialmente en tomas de primeros planos.

Siendo empleada la deconvolución (o convolución inversa) como mecanismo de restauración, mediante dos enfoques diferentes[60]:

- Deconvolución ciega
- Deconvolución no-ciega,

Radicando su diferencia en el conocimiento previo o estimación de la función de degradación para el caso de la deconvolución no ciega. Dicho tipo de problema se denomina problemas mal condicionados[60].

Relacionados durante el presente capítulo los aspectos teóricos, el capítulo siguiente se concentra en los detalles del trabajo desarrollado.

4 METODOLOGÍA EMPLEADA

Para conseguir los objetivos propuestos en esta tesis se consideran las siguientes etapas:

- División del problema en subprocesos específicos: El problema general se caracteriza mediante subprocesos y se analiza cada uno de ellos.
- Como resultado del análisis, cada subproceso se documenta e implementan los algoritmos destinados a solucionar el subproceso en consideración.
- Se valora el comportamiento de cada una de las soluciones mediante métricas cuantitativas, a fin de determinar el componente de mejor comportamiento a fin de integrarlo en el prototipo final.
- Integración de las mejores soluciones y evaluación de la solución final.

A continuación se señala el trabajo realizado a fin de cumplir con los diversos objetivos propuestos.

4.1 Desarrollo de la aplicación informática

4.1.1 Selección de la herramienta de programación

Para seleccionar la herramienta a emplear en el desarrollo de la aplicación informática se realiza un benchmarking entre las plataformas relacionadas en el cuadro 1, considerando criterios de alto y bajo nivel como es el caso de:

- Tiempo de desarrollo.
- Tiempo de compilación/ejecución.
- Costo licencia, disponibilidad en el campus.
- Consumo de recursos computacionales.

- y Disponibilidad de documentación.

Cuadro 1 Opciones para el desarrollo del software[107][108]

Criterio Lenguaje Programación	Tiempo de desarrollo	Tiempo de compilación/ Ejecución	Costo licencia	Consumo de recursos computacionales	Disponibilidad de documentación
Java	Alto	Alto	Bajo	Alto	Alto
C/C++	Alto	Bajo	Bajo	Medio	Alto
Visual Basic	Alto	Alto	Alto	Alto	Medio
Matlab	Medio	Medio	Alto	Medio-Alto ⁵	Alto
.net	Alto	Alto	Alto	Alto	Medio

Teniendo en cuenta la necesidad de una interfaz de usuario, la utilización de archivos existentes en medios físicos y los algoritmos descritos en el documento, se consideran como criterios básicos de comparación: el tiempo de desarrollo, el tiempo de compilación/ejecución y el consumo de recursos computacionales, siendo las opciones más sobresalientes a emplear C/C++ y Matlab, respectivamente.

Siendo seleccionada como herramienta de desarrollo la plataforma de programación Matlab™ 7.1 (release 14 liberado en 2005) en un computador con procesador AMD Sempron de 1.8 GHz y 1 Gb de RAM.

⁵ Depende de la versión empleada.

4.1.2 Metodología de desarrollo

La elaboración de la aplicación se realiza de manera modular, trabajando de forma evolutiva (codificando, probando, verificando y rediseñando de acuerdo con los conceptos asociados a la programación extrema (XP)), a fin de responder a los requerimientos planteados en los objetivos.

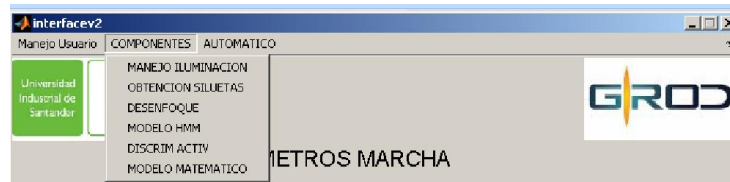
4.1.2.1 Interfaz de usuario

La interfaz de usuario (GUI) desarrollada se presenta en la figura 10, y su menú de opciones en la figura 11.

Figura 10. Interfaz grafica



Figura 11. Menú desarrollado



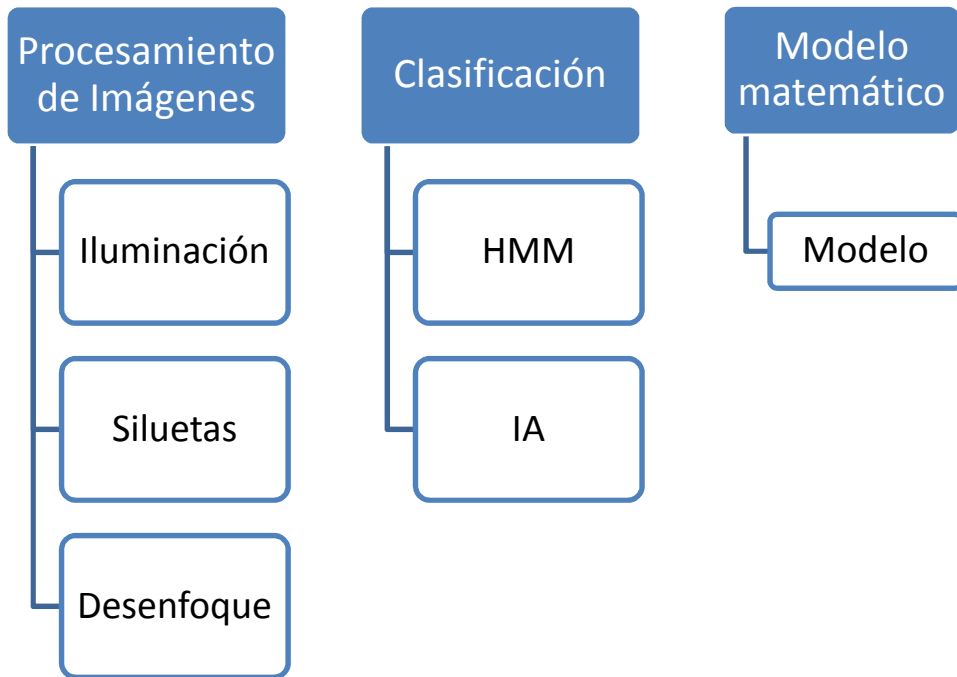
Dentro de la interfaz se considera la posibilidad de emplear cada componente desarrollado para satisfacer cada subproceso o la valoración automática.

La opción por componentes presenta un menú para carga de la información a analizar, por medio de la GUI se realiza el llamado al código (script) desarrollado en Matlab™, el cual a su vez tiene integrada la capacidad de generar un reporte en formato Excel con los valores de las variables y las métricas analizadas.

Haciendo uso del prototipo computacional desarrollado se pasa a resolver los subprocesos implícitos en los objetivos propuestos y superar las dificultades inherentes al uso de registros en video y/o fotografía como conjunto de datos de entrada para el análisis automático de la marcha, los correspondientes subprocesos son presentados en la figura 12.

Para cada uno de los subprocesos del desarrollo, se comparan de manera cuantitativa (a través de métricas) las soluciones obtenidas con los algoritmos básicos implementados al interior del prototipo funcional, siendo presentados los resultados obtenidos dentro del siguiente capítulo.

Figura 12. Subprocesos específicos



Dada la relación del proyecto con registros de información visual (procesamiento de imágenes) correspondientes a movimiento, es preciso considerar tres problemas de importancia:

- La imposibilidad de controlar las condiciones de iluminación,
- El entorno en el cual se realiza la captura de la información
- y las características del movimiento, referentes a la velocidad de su realización.

Como datos de entrada para la valoración de los subprocesos relacionados con el procesamiento de imágenes se emplean tres bases de datos compuestas por imágenes todas ellas de tipo académico[126]:

- La base de datos de movimiento corporal del Carnegie Mellon University (CMU) denominada CMU Mobo [27],
- La base de datos para reconocimiento de acciones humanas de la KTH [28]
- Los registros del Centro para investigación en biometría y seguridad del Instituto de automática de la academia China de Ciencias (CASIA)[30].

Como conjunto de entrada adicional, para las pruebas de los algoritmos empleados para el subproceso ligado al manejo de las condiciones de iluminación, se recopilan por medio de internet, imágenes bajo la directiva Creative Commons en las cuales se evidencien condiciones de iluminación desfavorables.

4.2 Manejo de las condiciones de iluminación

Dado que la información visual (imágenes/video) registrada en espacios con un rango dinámico amplio [109][110][111][112][113], comúnmente ve afectada su utilidad debido a la sobreexposición o a la subexposición [111][114][112], entregando una representación pobre de las características a analizar, lo cual dificulta el análisis por parte del operario humano o de un sistema automático basado en computadoras [109][115][105].

A fin de superar dicha limitante es preciso realizar un mejoramiento de la imagen, siendo este un proceso en el cual se ajusta la intensidad de los pixeles empleando alguna técnica perteneciente al procesamiento de imágenes sobre la imagen de entrada a fin de obtener una mejor imagen de salida [113][114].

Las técnicas de mejoramiento de imágenes pueden categorizarse como: regionales o globales [110][116], tal como se señalo en el capítulo anterior. A continuación se exponen los métodos considerados, el proceso de valoración y los resultados obtenidos.

A. Ajuste de la Intensidad

En procesamiento de imágenes es común usar espacios de color, siendo uno de los más usados el HSI (Hue, Saturation, Intensity), obtenido a partir del espacio de color RGB (Red, Green, Blue).

Esta técnica, requiere un mapeo desde un dominio a otro, realizado luego de separar la componente Intensidad (I), y ajustarla de acuerdo a la normalización de los píxeles contenidos en la imagen, obteniendo una nueva componente I_r , representada por la ecuación (21)

$$(I_r) \rightarrow \left(\frac{I}{\frac{1}{n} \sum_i I} \right) \quad (21)$$

Con la nueva componente I_r se reconstruye la imagen en HSI, la cual es mapeada de vuelta a RGB. Como desventaja de la técnica se observa un posible cambio en la apariencia de los resultados finales, luciendo poco naturales o totalmente diferentes a la imagen original[93].

B. Normalización de Componentes

Existe una gran cantidad de algoritmos diseñados especialmente para lograr la normalización de componentes [93], todos ellos sujetos al teorema “**no free lunch**”. Siendo el enfoque más usual, el modelamiento y ajuste de la información de la imagen mediante tres factores constantes presentes en el espacio de color RGB a través de factores de escalado (α , β , γ) y la división de cada canal de color por su valor promedio, de acuerdo a lo expresado en la ecuación (22)[93]

$$(\alpha R, \beta G, \gamma B) \rightarrow \left(\frac{\alpha R}{\frac{\alpha}{n} \sum_i R}, \frac{\beta G}{\frac{\beta}{n} \sum_i G}, \frac{\gamma B}{\frac{\gamma}{n} \sum_i B} \right) \quad (22)$$

C. Ecuación del Histograma (HEQ)

La ecualización considera que una imagen X , tiene una función de la densidad de probabilidad (PDF) [113][117], expresada mediante la ecuación (23)

$$p(X_k) = \frac{n^k}{n} \quad (23)$$

Con $k=0,1,\dots,L-1$, siendo n^k la cantidad de niveles X_k presentes en X y n es el número total de muestras en la imagen de entrada, $p(X_k)$ está asociado con el histograma y el número de pixeles que tienen una intensidad específica [113][117]

A partir de la PDF, es posible definir la función de densidad acumulada (CDF) mediante la ecuación (24)

$$c(X) = \sum_{j=0}^k p(X_j) \quad (24)$$

, donde X_j para $k=0,1,\dots,L-1$.

La técnica HEQ corresponde a un mapeo de la imagen de entrada en la totalidad del rango de la imagen, determinado a partir de la CDF usando como función de transformación, el comportamiento de HEQ es consecuencia de la expansión del rango dinámico [113].

D. Multiscale Retinex

El algoritmo básico Multiscale retinex (MSR) puede expresarse mediante la ecuación (25) [116]:

$$R_i(x, y) = \sum_{k=1}^k w_k (\log[I_i(x, y) - \log[F_k(x, y) * I_i(x, y)]) \quad (25)$$

$$i = 1, \dots, N$$

, donde el índice i se refiere a la banda espectral i 'th, (x, y) es la localización del pixel en coordenadas cartesianas, $*$ es el operador convolución. N es el número de bandas espectrales $N=1$ para imágenes en la escala de grises, and $N=3$ en caso de imágenes R, G, B. I es la imagen de entrada y R es la salida del algoritmo MSR. F_k es la función del vecindario k 'h, W_k es el ponderado asociado a los F_k , y S es la cantidad de funciones de vecindario, o escalas.

La F_k se expresa mediante la ecuación (26)

$$F_k(x, y) = k \exp[-(x_1^2 + x_2^2)/\sigma_s^2] \quad (26)$$

Donde σ_s es la desviación estándar de los vecindarios de tipo gaussiano. La magnitud de σ_s controla la extensión de los vecindarios, valores pequeños en σ_s resultan en vecindarios pequeños. La salida es normalizada por k [116] de acuerdo a la ecuación (27)

$$k = \frac{1}{[\sum_{x_1} \sum_{x_2} F(x, y)]} \quad (27)$$

El MSR se reduce a single scale retinex (SSR) al hacer $S=1$, con la restricción adicional de $W_1=1$ [116].

E. MSR con Restauración de Color

La aplicación del MSR generalmente produce la de saturación del color [111][105], la cual debe ser reducida con un proceso de restauración del color (CR) [111]. La CR en el algoritmo se expresa mediante la ecuación (28)

$$CR = \alpha_i(x, y) = f \left[\frac{I_i(x, y)}{\sum_{n=1}^N I_n(x, y)} \right] \quad (28)$$

Donde $\alpha_i(x, y)$ es el coeficiente de restauración del color en la banda espectral i -ésima, N es el número de bandas espectrales, I_i es la banda espectral i -ésima de la imagen de entrada [111]

Combinando el término de la corrección de color (28) con el término de MSR (25) resulta la Multiscale Retinex con restauración de color (MSRCR), presentada en la ecuación (29)[111][105][116]

$$MSRCR = \alpha_i(x, y) \sum_{k=1}^K W_k [\log I_i(x, y) - \log [F_k(x, y) * I_i(x, y)]] \quad (29)$$

MSRCR es ampliamente usada en técnicas de mejoramiento que usan compresión logarítmica y convolución espacial [109][116], siendo considerada

como una de sus limitaciones el establecimiento del valor de sus parámetros de ajuste, de manera manual por parte del usuario, luego de un proceso de prueba y error.

Se implementan cinco (5) algoritmos a valorar: Ajuste de intensidad, Normalización de componentes, HEQ, MSR y MSRCR ajustado con PSO. Los resultados de la comparación se presentan a continuación.

4.2.1 Resultados experimentales

A continuación se comparan las técnicas:

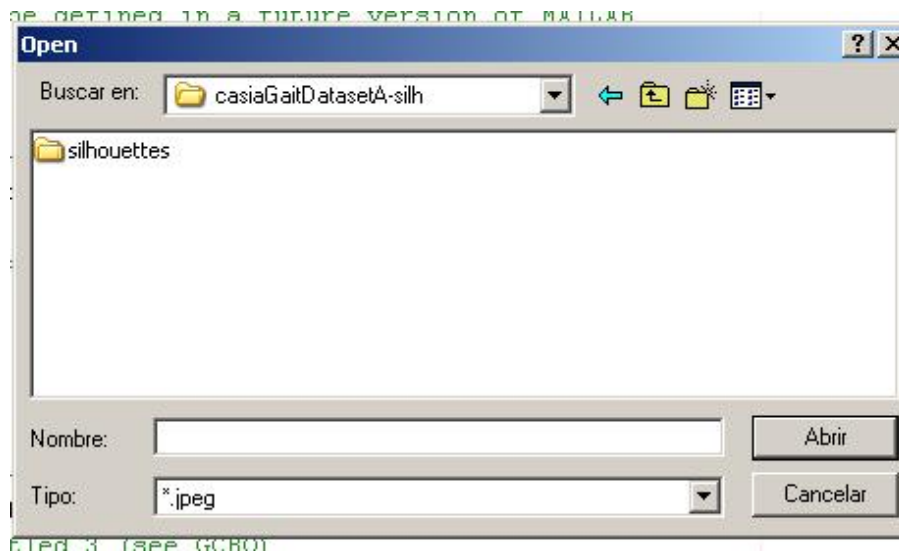
- Ajuste de la intensidad
- Normalización de componentes
- HEQ
- MSR
- y MSRCR propuesto (ajustado mediante función de costo).

Para ello se emplea la GUI diseñada, siendo el proceso de carga de las imágenes ilustrado en las figuras 13 y 14.

Figura 13. Uso de la GUI en el proceso



Figura 14. Selección de archivos

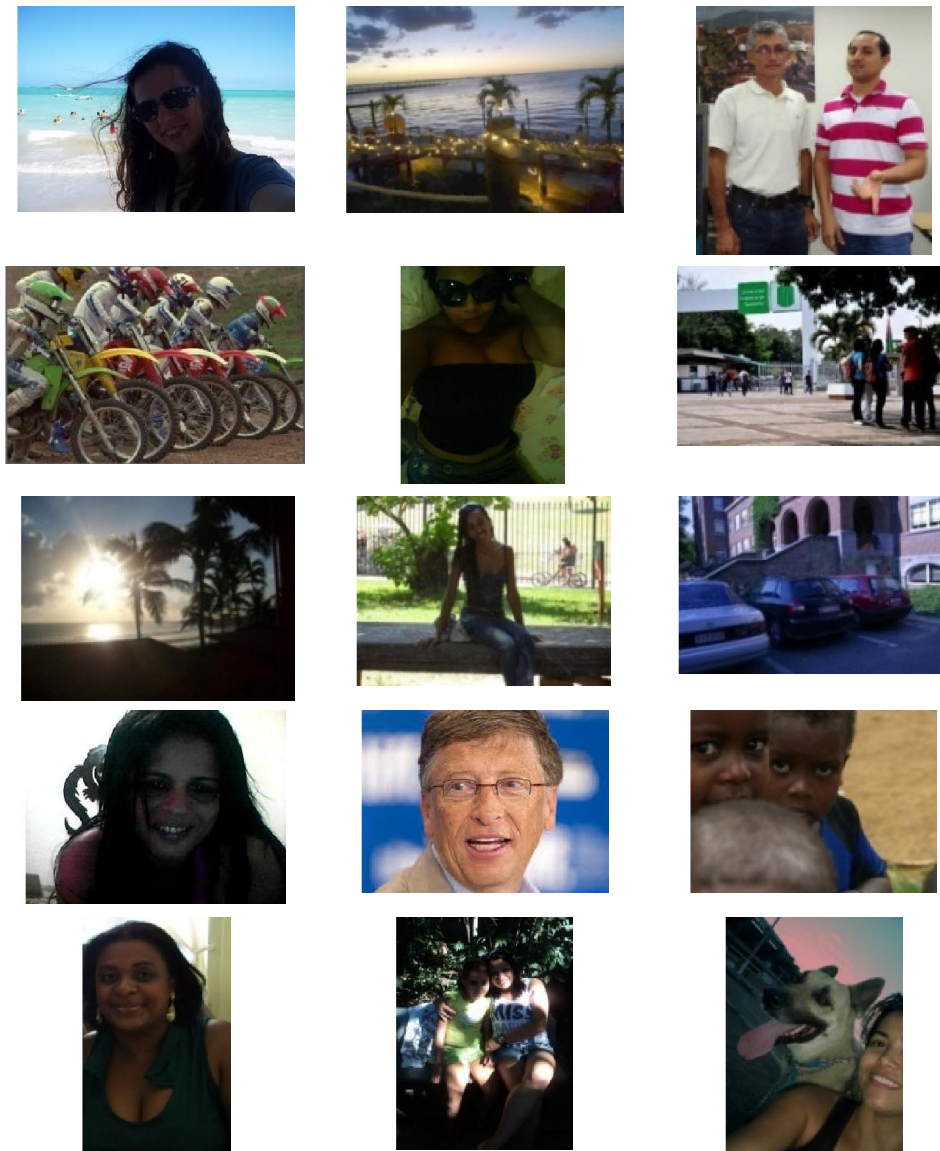


Para la comparación se usan quince (15) imágenes con degradación real, ilustradas en la figura 15, de las cuales se presentara el comportamiento de seis (6) de ellas.

La prueba tiene dos fases, durante la primera la imagen es mapeada desde el espacio de color RGB al HSI, escogido debido a su similitud al sistema visual humano y la reducción en carga computacional asociada al utilizarlo.

En la segunda fase la componente de iluminación es extraída mediante un filtro bilateral, y se aplican sobre ella las técnicas en valoración. Finalmente se re ensambla con las otras componentes y mapea de vuelta al espacio RGB.

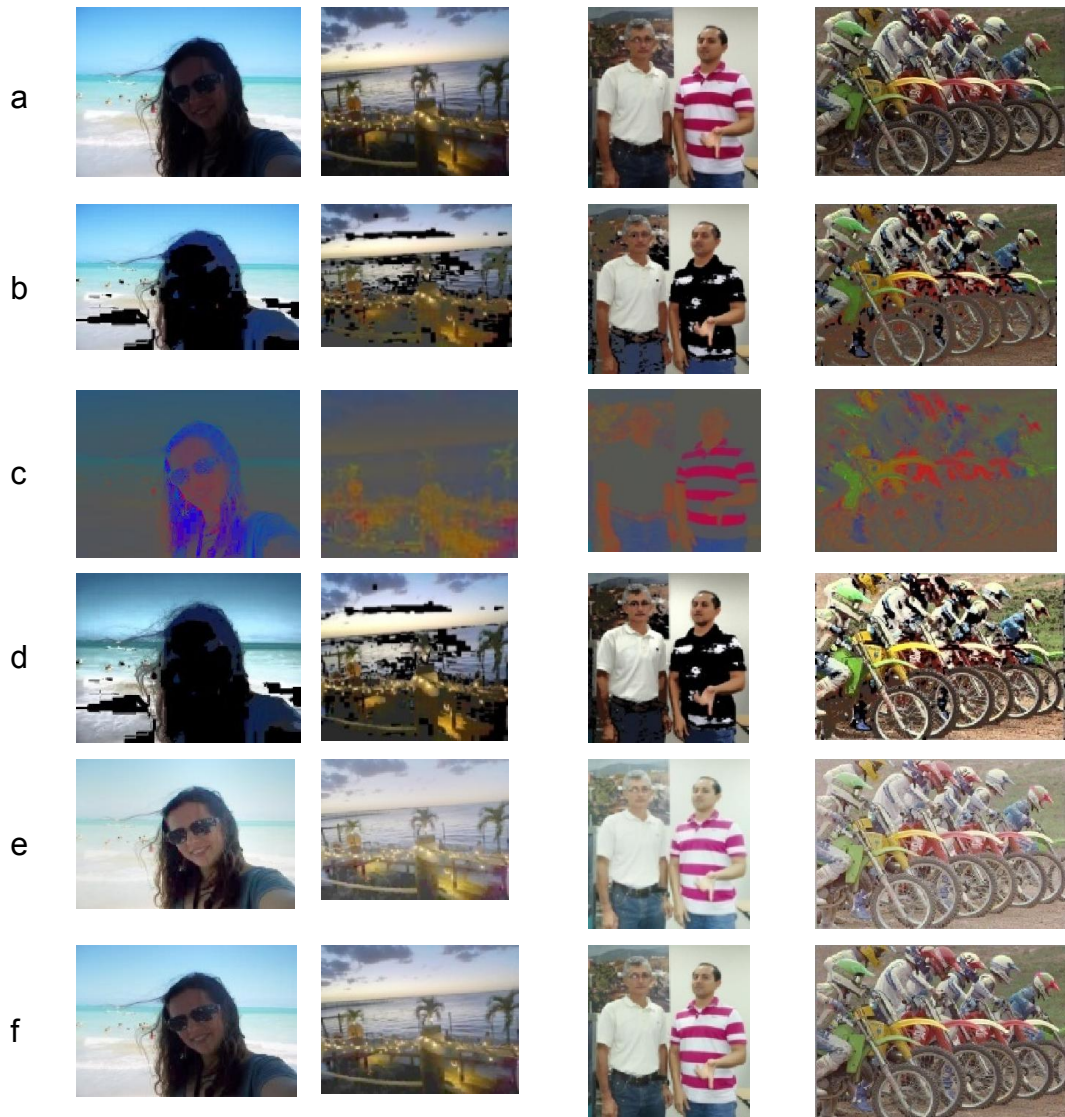
Figura 15. Conjunto de imágenes usadas en la comparación



Fuente [27],[28], internet

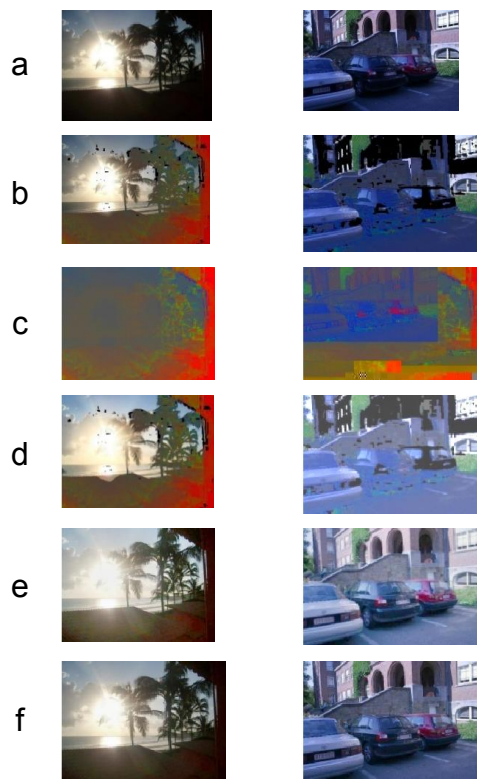
Para la comparación, dada la imposibilidad de tener una “mejor” imagen obtenida de manera objetiva, se usa el enfoque no *reference*, basando la comparativa en las métricas PSNR, AMBE y MSE, siendo presentados los resultados cuantitativos en las tablas 4 a 6. En las figuras 16 y 17 se ilustran los resultados de manera cualitativa

Figura 16. Resultados cualitativos obtenidos



(a) Imagen original, (b) Ajuste de la Intensidad (c) Normalización (d) HEQ (e) MSR, (f) MSRCR propuesto

Figura 17. Resultados cualitativos obtenidos



(a) Imagen original, (b) Ajuste de la Intensidad (c) Normalización (d) HEQ (e) MSR, (f) MSRCR propuesto

Las tablas a continuación (tablas 6, 7 y 8), presentan los resultados promedio obtenidos con las métricas implementadas (PSNR, MSE y AMBE), luego de cuatro intentos, durante la prueba se considera el enfoque no-reference de las salidas de los algoritmos: Ajuste de Intensidad, Normalización de componentes, HEQ, MSR y MSRCR propuesto.

Tabla 4. MSE

IMAGEN	ADJ. INTENSIDAD.	NORM COMP.	HEQ	MSR	MSRCR
1	2.590	7.600	1.800	1.660	433
2	2.910	10.600	3.800	3.180	823
3	3.890	6.280	2.800	2.160	834
4	4.500	8.600	1.600	4.740	1.210
5	2.000	15.100	12.300	3.570	898
6	3.470	12.700	11.870	4.310	1.120

Tabla 5. PSNR

IMAGEN	ADJ. INTENSIDAD.	NORM COMP.	HEQ	MSR	MSRCR
1	12,0	12,2	14,6	15,9	21,8
2	11,5	14,5	14,8	13,1	19,0
3	16,8	13,5	18,5	13,1	18,9
4	15,9	10,8	14,8	11,4	17,3
5	15,1	6,8	10,7	12,6	18,6
6	12,7	7,4	8,6	11,8	17,6

Tabla 6. AMBE

IMAGEN	ADJ. INTENSIDAD.	NORM COMP.	HEQ	MSR	MSRCR
1	15,8	10,8	8,4	1,8	2,5
2	10,6	4,5	4,6	8,7	3,9
3	8,7	2,8	8,5	5,8	4,8
4	8,9	11,5	10,7	10,2	3,9
5	13,4	11,5	2,8	2,8	4,4
6	12,5	10,8	1,2	1,9	6,5

Como se observa en las tablas 4, 5 y 6, en el caso de las valoraciones cuantitativas, los métodos HEQ, MSR y MSRCR entregan los valores mínimos en las métricas MSE, AMBE y los mayores en PSNR, asociado este comportamiento a un notable mejoramiento en la calidad de la imagen.

En el caso de las valoraciones cualitativas los mejores comportamientos se observan en las figuras 16 y 17, siendo obtenidos por las técnicas multiscale (MSR y MSRCR clásica).

La valoración de las diferentes técnicas, se realiza analizando específicamente, imágenes fijas (fotografías). Sin embargo, con algunas modificaciones la metodología es fácilmente extensible a información en video. Las técnicas computacionales como el caso de MSR y el MSRCR propuesto tienden a reducir la dependencia de la apariencia de las imágenes respecto a la iluminación.

Permitiendo obtener mejores imágenes a usar en etapas posteriores del proceso de análisis de imágenes.

A fin de superar las dificultades ocasionadas por el entorno/fondo durante el empleo de la herramienta desarrollada, se procura eliminar su influencia concentrándose en el contorno o silueta de la persona en análisis[12],[16][39][41] considerándose un proceso adicional y posterior a la reducción de la influencia de la iluminación.

4.3 Obtención automática de siluetas

La valoración de las técnicas para la obtención de las siluetas se realiza considerando los pseu-códigos descritos en la tabla 7

Tabla 7. Descripción de las tareas realizadas

Técnica	Tareas
No hacer restauración	<ul style="list-style-type: none"> • Obtención de la silueta a partir de la imagen original, sin realizar ninguna adecuación de la información.
Cambio al plano HSI, normalización de la intensidad.	<ul style="list-style-type: none"> • Redefinición de la imagen del espacio de color RGB (Rojo, Verde, Azul) al espacio HSI (Pureza, Saturación, Intensidad). • Separación de las componentes en el nuevo espacio de color • Calculo del promedio de la componente Intensidad en los espacios de color originales. • Modificación de la componente Intensidad a partir del promedio calculado anteriormente. • Recomposición de la imagen en el espacio de color HSI a partir de las componentes modificadas. • Obtención de la nueva imagen en el espacio HSI, Cambio al plano RGB. • Obtención de la silueta a partir de la nueva imagen de color en el espacio RGB.

Continúa tabla 7

Técnica	Tareas
Normalización de colores.	<ul style="list-style-type: none"> • Separación de la imagen en las componentes RGB. • Calculo del valor de las componentes promedio para la imagen en cada pixel en las componentes RGB. • Redefinición del valor del pixel en las componentes de acuerdo a la razón valor del pixel/promedio del pixel en las componentes RGB • Con las componentes modificadas se recompone la imagen en el espacio de color RGB. • Obtención de la silueta a partir de la nueva imagen de color.
Ecuilización de componentes.	<ul style="list-style-type: none"> • Redefinición de la imagen en el espacio de color RGB (Rojo, Verde, Azul) al espacio HSI (Pureza, Saturación, Intensidad). • Redistribución de la intensidad a lo largo del posible espectro de valores (0-255 unidades). • Recomposición de la imagen en el espacio HSI. • Obtención de la nueva imagen en el espacio RGB.

Posterior a la adecuación de la información se determina la silueta correspondiente mediante umbralización de acuerdo al método de Otsu [41], la cual será comparada contra la silueta determinada de manera manual empleando las métricas: MSE, Tiempo de proceso, PSNR y SSIM.

Tabla 8. Actividades para obtención de la silueta

Actividad	Tareas
Umbralización	<ul style="list-style-type: none"> • Determinación de la componente Intensidad de la imagen. • Calculo de la distribución en la componente. • Determinación del media de la intensidad y tercer cuartil • Asignación de los valores de fondo (0) inferiores al tercer cuartil y sombra (1) los valores restantes, de acuerdo a los cálculos anteriores. • Creación de la silueta.

Los resultados de la comparación a continuación.

4.3.1 Resultados experimentales

A fin de realizar la comparación entre la silueta obtenida automáticamente y la obtenida manualmente se usan métricas objetivas, considerando la metodología *full reference*, de acuerdo a lo presentado en la tabla 2.

Como imágenes de trabajo se recopilan treinta y dos (32) imágenes de personas, pertenecientes a las etnias, a fin de revisar el comportamiento de los algoritmos al enfrentarse a diversos tonos de color de piel:

- Color
- Asiático
- Ario
- Mestizo

En las imágenes empleadas se observa la presencia de sombras, iluminación escasa y/o fuentes luminosas ubicadas en contraposición al mecanismo de adquisición.

Figura 18. Uso de la interfaz grafica en el proceso

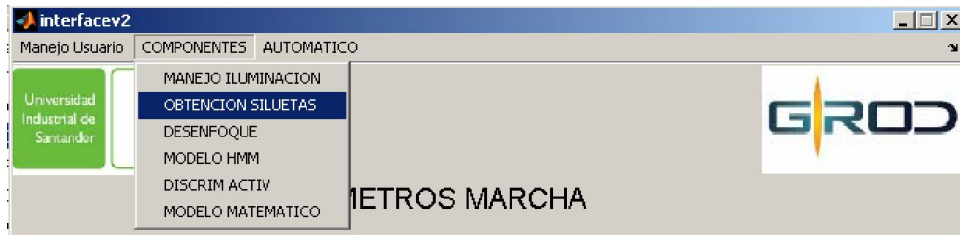
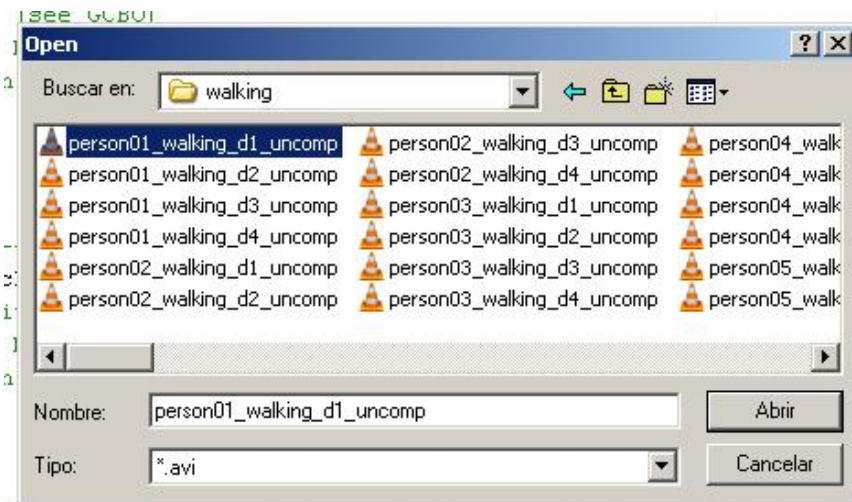


Figura 19. Selección de archivos

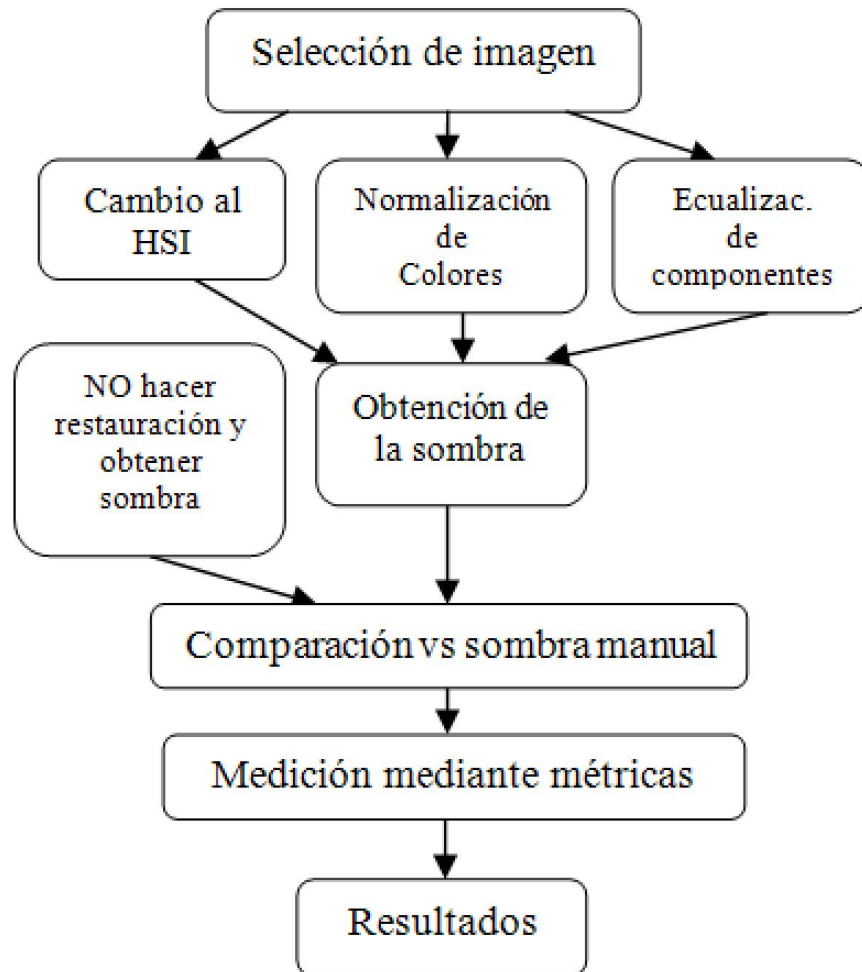


Las imágenes obtenidas a partir del flujo de video, al realizar la segmentación del mismo en sus frames correspondientes, se someten a acondicionamiento, a fin de reducir el impacto de la iluminación, previamente a la obtención de la silueta mediante las técnicas referidas a continuación.

Las tareas asociadas al proceso de obtención de la silueta, se ilustran en la figura 20, refiriéndose a las técnicas listadas a continuación:

- No hacer restauración (algoritmo 0)
- Cambio al espacio de color HSI, normalización de la intensidad. (algoritmo 1)
- Normalización de colores. (algoritmo 2)
- Ecuación de componentes. (algoritmo 3)

Figura 20. Técnicas empleadas para la obtención de las siluetas



Los resultados de la valoración cuantitativa, empleando las métricas se presentan en la tabla 9, los criterios de valoración son:

MSE, PSNR, SSIM y tiempo de proceso.

Tabla 9. Resultados cuantitativos obtenidos

Algoritmo	MSE	PSNR	SSIM	Tiempo de proceso (s)
Algoritmo 0	32.993,3 \pm 11.711,9	3,19 \pm 1,5	-0,02 \pm 0,2	0.0794 \pm 0.040
Algoritmo 1	26.862,0 \pm 10.935,3	4,33 \pm 2,4	0,08 \pm 0,3	72.43 \pm 51.03
Algoritmo 2	29.146,7 \pm 12.998,9	3,95 \pm 2,1	0,04 \pm 0,18	306.69 \pm 123.2
Algoritmo 3	27.070 \pm 10.633,8	4,23 \pm 2,1	0,07 \pm 0,27	0.53 \pm 0.30

De acuerdo con los resultados cuantitativos promedio, obtenidos luego de la valoración del algoritmo en cuatro ocasiones sobre cada imagen, presentados en la tabla 9, es posible inferir que el algoritmo basado en la ecualización de componentes (algoritmo 3), es la técnica con mejor comportamiento en la restauración de la información y la obtención de la silueta.

Otro problema habitual presente al momento de registrar movimiento, es el desenfoque de la imagen, ocasionado al existir una diferencia entre la velocidad del movimiento y la velocidad de captura del equipo de registro[43][31][118].

4.4 Desenfoque de la imagen

El movimiento de la cámara o el objeto a capturar es causa de gran parte de las pérdidas de información en la adquisición de imágenes, siendo imposible determinar de manera posterior la causa del desenfoque y por tanto el mecanismo apropiado para la restauración adecuada de la imagen [119][60], [90][59] [31].

El fenómeno de desenfoque de acuerdo a su generador, es clasificado en dos categorías:

- Desenfoco por movimiento: Ocasionado al intentar registrar un evento manipulando el tiempo de abertura del obturador del mecanismo de adquisición, se presenta tanto en eventos ocurridos a alta velocidad, como en baja velocidad [60][120][121].
- Desenfoco global: Se obtiene por énfasis en una parte de la imagen, se observa especialmente en tomas de primeros planos.

La influencia del problema se puede reducir empleando deconvolución, considerando uno de dos enfoques posibles [119][121]:

- Deconvolución ciega⁶
- Deconvolución no-ciega,

, difiriendo ellos en el conocimiento previo o estimación del kernel de degradación en el caso no ciego y reversando el efecto de la convolución sobre la imagen. Dicho tipo de problemas se denomina problemas mal condicionados.

Otro enfoque para la solución del desenfoco considera los tipos de distorsión [119][59]:

- Distorsión invariante (causado por movimiento de la cámara), solucionable mediante la estimación de una función de degradación o función de probabilidad (PSF) adecuada a partir de la cual realizar la deconvolución.
- Distorsión variante espacialmente (debida al movimiento). El manejo de las distorsiones variantes es extremadamente difícil, siendo categorizado dentro de los problemas mal condicionados [89] [43] [97].

Las dificultades del proceso de deconvolución radican en la no-linealidad del proceso, las singularidades de la distorsión lineal o las componentes de alta

⁶Referente a los problemas de naturaleza invariante.

frecuencia del ruido aditivo [59].

Los detalles de la comparación y sus resultados, se presentan a continuación.

4.4.1 Resultados experimentales

Para acceder a las imágenes se emplea la GUI diseñada ilustrada en la figura 21 y 22

Se emplean once (11) imágenes, definidas en el espacio RGB, clasificadas en dos conjuntos de acuerdo a su tamaño.

El primer conjunto está compuesto por cuatro imágenes con un tamaño de 128*128 pixeles. El segundo conjunto lo componen las siete (7) imágenes adicionales con un tamaño de 240*240 pixeles, aplicándose sobre los dos conjuntos la secuencia de pasos ilustrada en la figura 23.

Figura 21. Uso de la GUI en el proceso

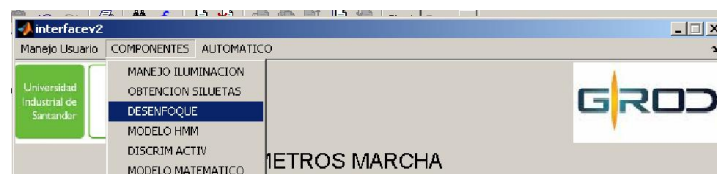


Figura 22. Selección de archivos

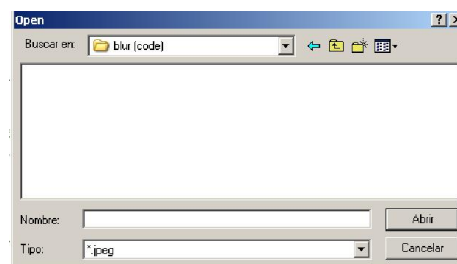
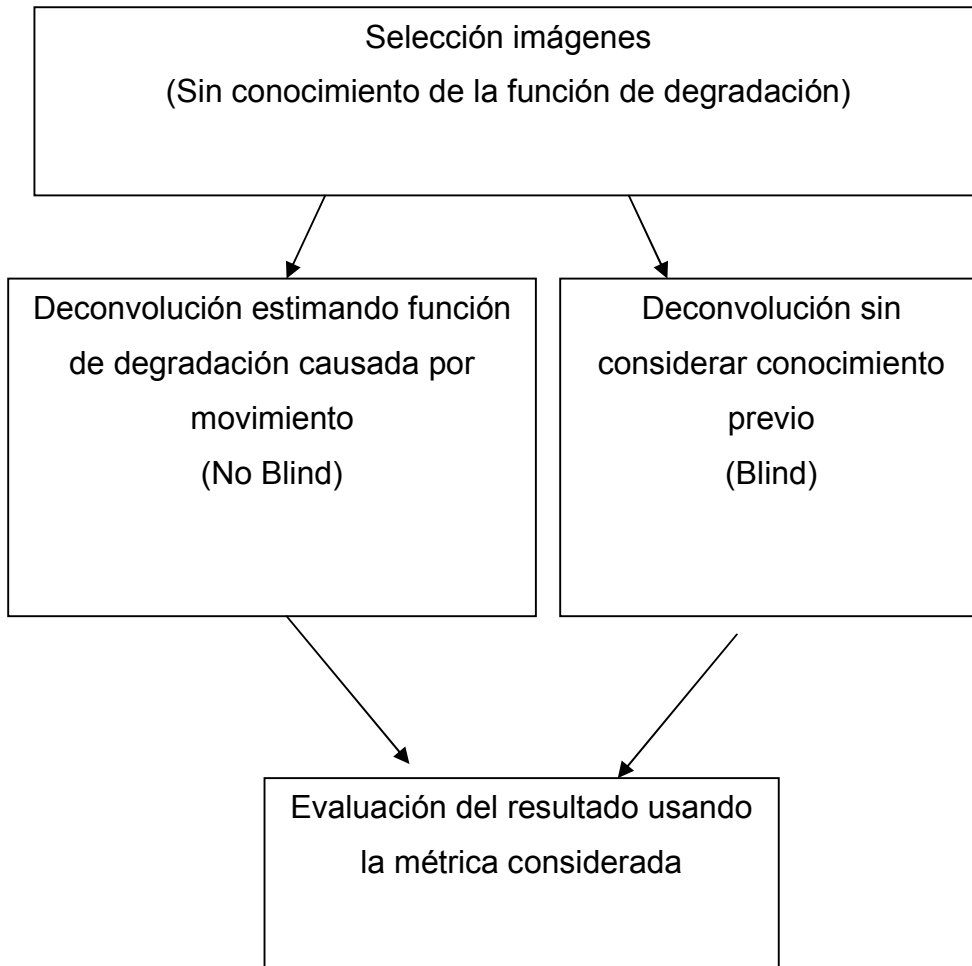


Figura 23. Diagrama de flujo empleado



Las imágenes empleadas presentan afectación por desenfoque ocasionado por las condiciones existentes durante la adquisición de las mismas.

En aras de reducir la afectación existente en imágenes, determinar la eficiencia de los diversos enfoques recomendados ante la degradación y proporcionar criterios para la selección del algoritmo con mejor comportamiento durante el análisis de movimiento y marcha humana, se valora el comportamiento de los diversos algoritmos presentados en la tabla 10.

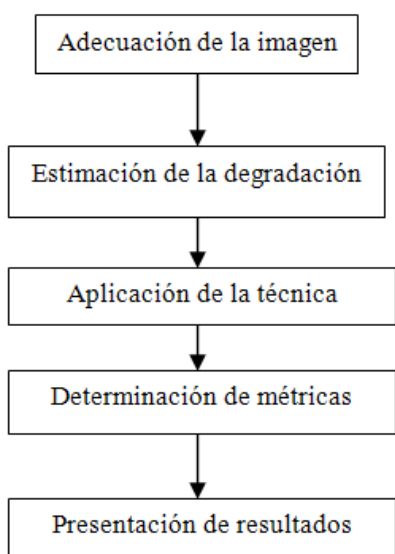
Tabla 10. Algoritmos empleados en la deconvolución

Deconvolución no blind	Deconvolución blind
<ol style="list-style-type: none"> 1. Algoritmo con estimación del vecino más cercano (MLE). 2. Algoritmo de Lucy-Richardson 3. Algoritmo con filtro regularizado 4. Restauración con Filtro Wiener 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Daubechies 1 (db1). 2. Daubechies 2 (db2). 3. Daubechies 3 (db3). 4. Daubechies 5 (db5). 5. Daubechies 8 (db8). 6. Wavelet Biorotogonal 6.8 (bior6.8). 7. Wavelet Symlets 2 (sym2). 8. Wavelet Symlets 4 (sym4). 9. Wavelet Symlets 8 (sym8). 10. Wavelet Coiflets 1 (coif1). 11. Wavelet Coiflets 5 (coif5). 12. Transformada Radón, utilizando el algoritmo presentado en [118] y [43].

Siendo analizados bajo la premisa No-Reference, de acuerdo a la tabla 2, considerando las métricas PSNR, MSE y tiempo de procesamiento.

Durante el trabajo con las técnicas no blind se emplea el diagrama de flujo, presentado en la figura 24

Figura 24. Diagrama de flujo para la deconvolución no *blind*



Como resultado de la aplicación de los algoritmos de la convolución no *blind* se obtienen las tablas 11 a 13 expresando ellas los resultados promedio, obtenidos al evaluar en cuatro (4) ocasiones cada imagen, de acuerdo a las métricas consideradas, todos los resultados presentados corresponden a la aplicación sobre el primer conjunto de imágenes.

Tabla 11. Tiempos de la restauración usando técnicas no blind

IMAGEN	TÉCNICA				
	1	2	3	4	
Img1	462.115,0	854.682,0	0,65	0,25	(s)
Img2	306.885,0	549.013,0	0,30	0,15	(s)
Img3	200.572,0	323.407,0	0,25	0,12	(s)
Img4	197.213,0	349.993,0	0,26	0,12	(s)

Tabla 12. MSE de la restauración usando técnicas no blind

IMAGEN	TÉCNICA			
	1	2	3	4
Img1	180.156,0	612.729,0	143.252,0	28.726,0
Img2	705.692,0	2.138.390,0	553.788,0	95.819,0
Img3	1.855.927,0	6.338.798,0	1.836.913,0	309.442,0
Img4	1.392.720,0	4.552.988,0	1.100.216,0	171.375,0

Tabla 13. PSNR de la restauración usando técnicas no *blind*

IMAGEN	TÉCNICA			
	1	2	3	4
Img1	355.743,0	355.743,0	355.743,0	355.743,0
Img2	296.446,0	296.446,0	296.446,0	296.446,0
Img3	254.452,0	254.452,0	254.452,0	254.452,0
Img4	266.922,0	266.922,0	266.922,0	266.922,0

Siendo notable los menores tiempos de cálculo y MSE en el filtro regularizado y la técnica Wiener, el comportamiento de la métrica PSNR es similar en las cuatro técnicas en evaluación, al ser usada sobre el conjunto de imágenes presentado en el presente documento.

Al emplear la deconvolución blind, el proceso es similar al presentado en la figura 16, a excepción de la no inclusión de la estimación de la función de degradación.

Los resultados promedio del uso de los algoritmos blind, sobre el primer conjunto de imágenes, se presenta en las figuras 25 a 27.

Figura 25. Promedio PSNR (dB)

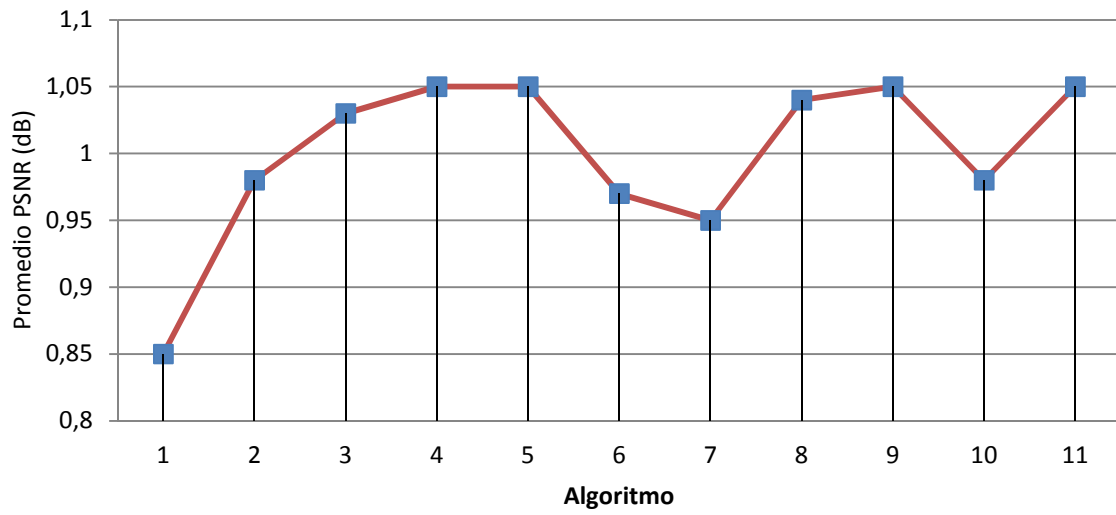


Figura 26. Promedio Tiempo (s)

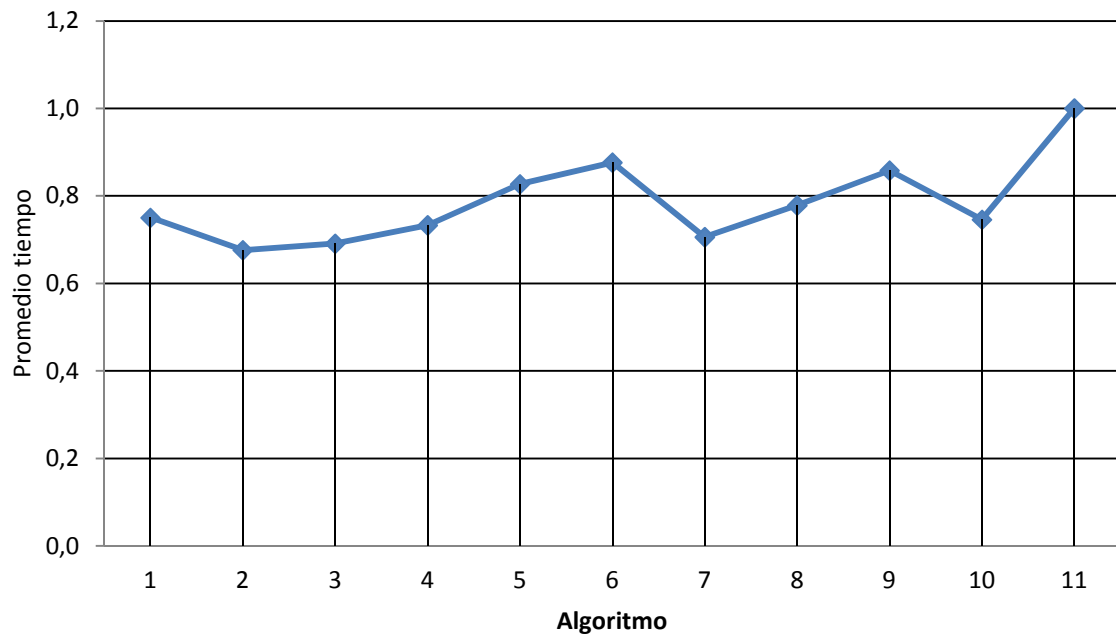
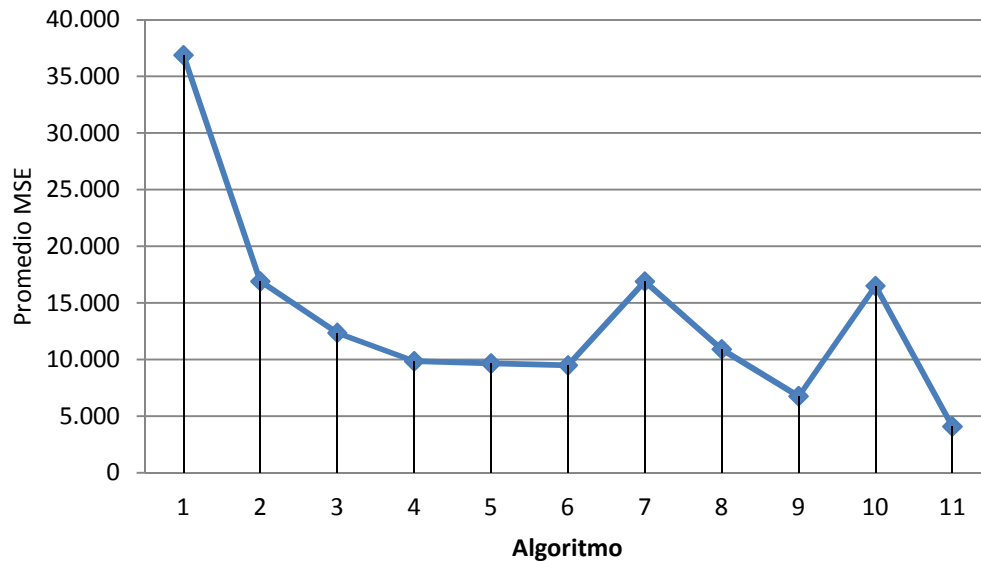


Figura 27. Promedio del error medio cuadrático (MSE)



En la métrica tiempo de procesamiento el mejor comportamiento es obtenido por las Wavelet Daubechies (1, 2, 3, 5), Symlets 2 y Coiflet 1, respectivamente, debido a sus características básicas (cantidad de momentos de desvanecimiento e irregularidad en su forma) permitiendo lograr menores tiempos de procesamiento, inferiores a cualquiera de las técnicas no blind.

En las métricas MSE y PSNR el mejor comportamiento se observa en las Coiflets 5, Symlets 8 y Wavelet biortogonal.

Dada la imposibilidad de conocer la función de degradación, es preciso notar el algoritmo con mejor comportamiento, corresponde a la wavelet biortogonal.

Respecto al subproceso modelo computacional, a continuación se presentan las valoraciones cuantitativas y los resultados obtenidos

4.5 Modelos HMM

Siendo la marcha un movimiento de naturaleza relativamente simple, en el cual se desarrolla de manera aleatoria y caótica [12][54][73], para su estudio y análisis es preciso considerar técnicas y conceptos de similar índole, en el presente trabajo se valoran dos topologías HMM básicas a fin de parametrizar e identificar las diversas actividades existentes dentro de los datos usados como entrada[27], su comparación pretende escoger la topología adecuada y validar su utilidad en la problemática.

Se emplea como fuente de datos inicial la base de datos CMU MoBo, compuesta por tomas desde el plano sagital de veinticinco (25) personas, la adquisición del conjunto se basa en desplazamientos realizados sobre una caminadora al interior del laboratorio CMU 3D [27]

La información básica de los datos empleados se presenta en la tabla 14, una ampliación de la misma se puede ubicar en el anexo, los datos se pueden considerar como:

- a) Máscaras binarias de primer plano en formato PBM y las imágenes de fondo.
- b) Imágenes originales en formato JPG

Tabla 14. Características de la base de datos empleada

Localización de la marcha	Caminadora ubicada en espacios interiores
Sujetos analizados	25
Vistas	6
Sincronizados	Si
Estilos de marcha	4
Longitud de la secuencia (s)	11
Tamaño en pixeles	500

Continuación tabla 14

Cuadros por segundo (fps)	30
Tamaño sin comprimir (GB)	175
Tamaño comprimido (GB)	9.9
Tamaño de la imagen (ancho*alto)	486*640

Fuente [27]

Cada persona realiza cuatro patrones de caminata, especificados como: caminata lenta, caminata rápida, caminata con inclinación y caminata con balón [27], registrados aproximadamente mediante trescientos cuarenta (340) imágenes cada uno de ellos.

Como datos de entrenamiento se emplea un ciclo de marcha lenta (considerando el objetivo del presente trabajo), realizado por seis personas, correspondiente a cuarenta y ocho (48) imágenes por persona, para un total de doscientos ochenta y ocho (288) imágenes de entrenamiento, como datos de prueba se emplean mil setecientos cincuenta y dos (1752) imágenes.

La carga de los datos gráficos al modelo se realiza mediante la GUI, empleando el proceso ilustrado en las figuras 28 y 29.

Figura 28. Uso de la GUI en el proceso

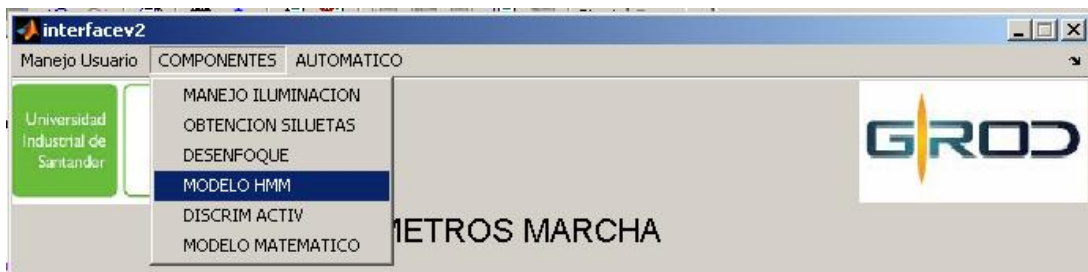
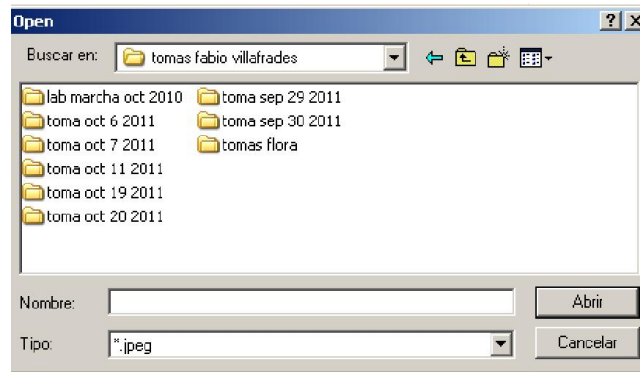


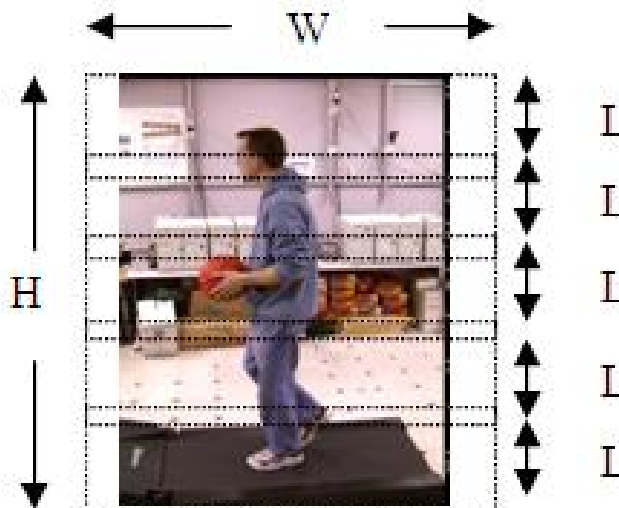
Figura 29. Selección de archivos



A partir de las tomas seleccionadas se genera la secuencia a entregar al HMM, interpretada como una secuencia unidimensional sobre la cual se aplica SVD, a fin de reducir el consumo de memoria y la carga computacional.

Las secuencias son generadas automáticamente dividiendo cada imagen de ancho W y Alto H en cinco (5) bloques de altura L y ancho W , con una ventana de $L*W$ y un traslape del 30%, se recorre la imagen, extrayendo las características (variaciones angulares de los segmentos presentes), tal como es ilustrado en la figura 30.

Figura 30. Ejemplo de las imágenes empleadas

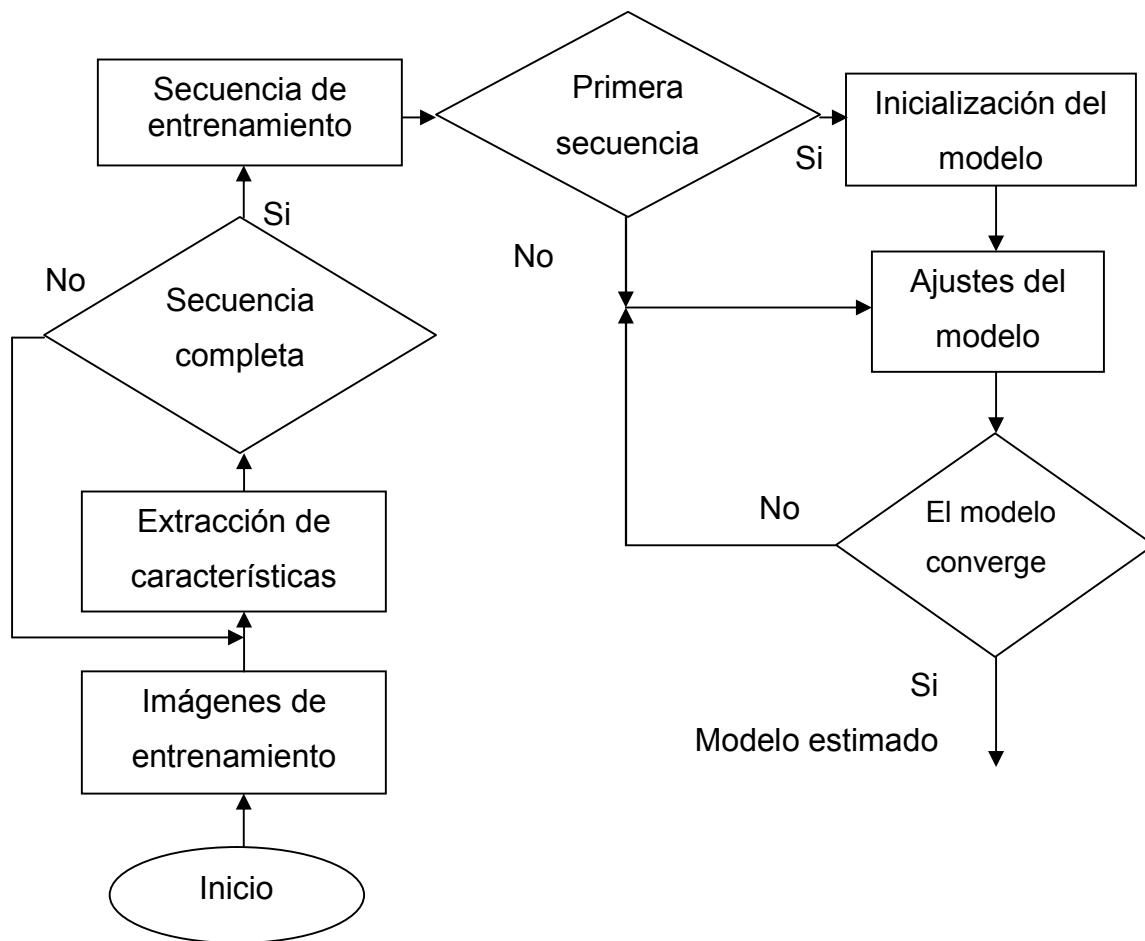


Fuente Autores del proyecto a partir de [27]

4.5.1 Resultados experimentales

Como parte del proceso se implementan HMMs unidimensionales de tipo izquierda-derecha, de tres (3), cinco (5) y siete (7) estados, los cuales son entrenados de acuerdo al diagrama de flujo presente en la figura 31.

Figura 31. Entrenamiento de los HMM



Posteriormente al entrenamiento se realiza la prueba de los modelos, mediante la utilización de los conjuntos asociados a las acciones diferentes a la marcha lenta usándolos a fin de determinar la selectividad de los modelos HMM, los resultados

promedio obtenidos con la totalidad de los conjuntos de prueba son presentados en la tabla 15.

Tabla 15. Comparación de HMM

Cantidad de estados del modelo HMM	% de reconocimiento de la acción	Tiempo de entrenamiento (s)	Tiempo empleado para el reconocimiento (s)
3	80	15	3.5
5	93	28	153
7	75	25	120

Durante la valoración realizada, el HMM de cinco estados tiene el mejor comportamiento respecto a la métrica % de reconocimiento.

4.6 Técnicas de Inteligencia Artificial

Se identifican a partir de la revisión bibliográfica, trece (13) modelos como los de mayor aceptación al interior de la comunidad académica involucrada en el análisis de movimiento y procesamiento de señales, dada su versatilidad y altos índices de éxito en la identificación de procesos.

Se implementan en Matlab™ una serie de algoritmos, discriminados de la siguiente forma: once (11) modelos de red neuronal (variando sus funciones de aprendizaje), un (1) modelo k-vecinos más cercanos (K-nn) y un modelo máquinas de soporte vectorial (SMV), utilizados para realizar la comparación de su comportamiento como clasificadores.

Cada modelo se usa con sus valores por defecto a fin de comparar el concepto básico de la técnica. Como métricas de valoración, se emplean la tasa de

verdaderos positivos (TPR), la tasa de falsos positivos (FPR) y el tiempo empleado por el algoritmo en realizar la detección del evento.

Los detalles y resultados de la valoración se consignan a continuación.

4.6.1 Resultados experimentales

El objetivo de la prueba para el presente trabajo es determinar la eficiencia de los algoritmos de mayor aceptación al interior de la comunidad científica, identificados durante la revisión bibliográfica realizada, a ser empleados durante la discriminación del movimiento producto de la marcha lenta respecto a los demás movimientos.

La información extraída de las secuencias CMU MoBo [27] y KTH [28], será usada como datos de entrada de los algoritmos presentes en la tabla 16.

Tabla 16. Algoritmos AI en valoración

Modelo	Indicador	Función de aprendizaje
Red backpropagation	R1	gradiente descendente
	R2	gradiente descendente con momento
	R3	gradiente descendente con tasa de aprendizaje adaptativa
	R4	Backpropagation resilente
	R5	gradiente backpropagation conjugado con actualizaciones Fletcher-Reeves
	R6	backpropagation cuasi-newton BFGS
	R7	Backpropagation Levenberg-Marquardt
Red neuronal probabilística	R8	
Red neuronal de función radial- de regresión	R9	
Red de función radial	R10	
RNA de Kohonnen	R11	
K-nn	R12	
SMV	R13	

A continuación se revisan los resultados obtenidos empleando CMU MoBo [27] como datos de entrada, los datos de validación e información de referencia para determinar la eficiencia de los algoritmos en la discriminación de acciones corresponden a las secuencias de marcha lenta obtenidas para cuatro (4) personas, las otras tres acciones (caminata rápida, caminata con inclinación y caminata con balón) y dos (2) secuencias de marcha lenta escogidas de manera dinámica, se usan para entrenamiento.

Sobre la información usada como entrada a los algoritmos se realiza una reducción de la dimensionalidad empleando SVD, el proceso se repite en cuatro ocasiones, presentando como resultados los valores promedio obtenidos.

Figura 32. Uso de la GUI en el proceso



Figura 33. Selección de archivos

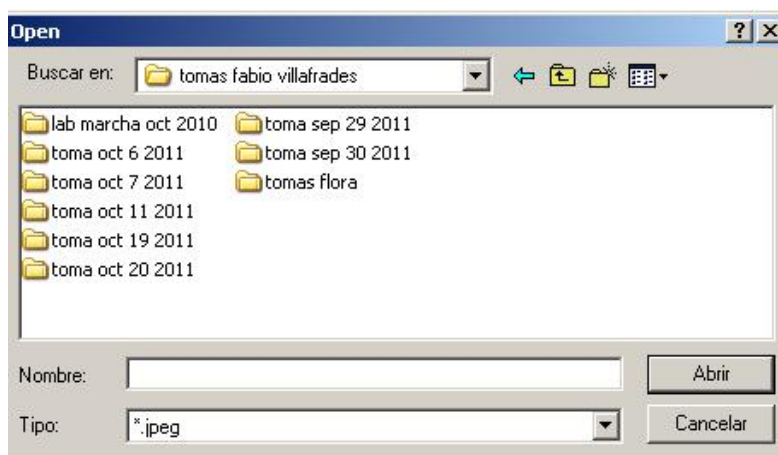


Tabla 17. Valoración de los algoritmos

Indicador	TPR (%)	FPR (%)	Tiempo de procesamiento (s)
R1	68	40	800
R2	68	30	1300
R3	78	50	1300
R4	68	38	900
R5	74	45	1000
R6	60	30	500
R7	52	10	300
R8	82	10	200
R9	76	20	300
R10	82	12	280
R11	75	30	420
R12	65	35	150
R13	65	40	180

Los resultados de las métricas empleadas, indican que el mejor comportamiento se obtiene con la red probabilística/bayesiana (R8), con una alta tasa de éxito asociada a TPR, una baja FPR y un tiempo de proceso reducido.

4.7 Modelo matemático

La alta complejidad de la marcha humana[2][122][123][69][124], sugiere incluir en el modelo algunas hipótesis simplificadoras, relacionadas con los aspectos geométricos, cinemáticos y dinámicos del movimiento[15][56][10][122]. Siendo usual el uso de modelos de la marcha generados por medio de software de modelamiento [123][37][69].

En el presente trabajo el modelo se restringe al análisis en el plano sagital[27][28], sin considerar las contribuciones de los planos frontal y transversal[125][66][21]. Siendo el movimiento generado por las articulaciones rotacionales, ubicadas en la cadera, rodilla y tobillo.

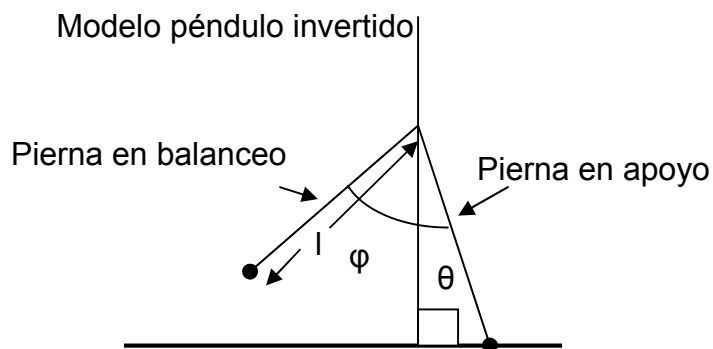
Se desarrolla un modelo básico de tipo pendular y uno multi segmentos comparados inicialmente contra un modelo computacional desarrollado en OpenSim.

El modelo y la comparación se detalla en el capítulo siguiente.

4.7.1 Resultados experimentales

El modelo analítico más sencillo se asemeja a un doble péndulo invertido[66][125][123], como el ilustrado en la figura 34, descrito matemáticamente de acuerdo a la ecuación 30 y 31

Figura 34. Modelo péndulo invertido



El modelo considera que la masa de la cadera, es superior a la del pie ($M \gg m$), de modo que el movimiento del pie no afecta el movimiento de la cadera, los ángulos φ y θ son función del tiempo, g es la gravedad.

$$\beta = m/M \quad (30)$$

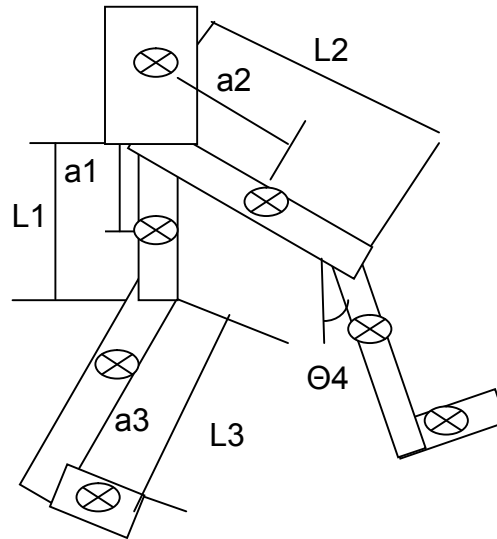
$$\begin{aligned} & \begin{bmatrix} 1 + 2\beta(1 - \cos\varphi) & -\beta(1 - \cos\varphi) \\ \beta(1 - \cos\varphi) & -\beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{\theta} \\ \ddot{\phi} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -\beta \sin\varphi(\dot{\phi}^2 - 2\dot{\theta}\dot{\phi}) \\ \beta\dot{\theta}^2 \sin\varphi \end{bmatrix} \\ & + \begin{bmatrix} \left(\frac{\beta g}{l}\right) [\sin(\theta - \varphi) - \sin(\theta)] - \frac{g}{l} \sin(\theta) \\ \left(\frac{\beta g}{l}\right) \sin(\theta - \varphi) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (31)$$

Acerca del modelo es posible realizar la siguiente consideración: En caso de darse la marcha humana en terrenos planos, el cuerpo puede mantener la posición erecta sin haber lugar a una auto compensación.

En el caso del modelo el centro de masa del cuerpo será análogo a la masa del péndulo y el centro de presión del pie es el pivote del péndulo.

Un modelo más completo incluyen las diferentes secciones del cuerpo humano sugeridas por contreras [125], como se ilustra en la figura 35.

Figura 35. Modelo Siete segmentos



Donde cada segmento tiene una longitud (Lx), una distancia desde el extremo al centro de masa (ax), un ángulo de desplazamiento respecto a la vertical (θx), siendo x el número del segmento.

En cada segmento se realiza un DCL a fin de obtener las fuerzas y momentos actuantes entregando la matriz de movimiento, descrita por la ecuación (32)

$$T_e = \begin{bmatrix} V_{x1} \\ V_{y1} \\ V_{x2} \\ V_{y2} \\ V_{x3} \\ V_{y3} \\ V_{x4} \\ V_{y4} \\ V_{x5} \\ V_{y5} \\ V_{x6} \\ V_{y6} \\ V_{x6} \\ V_{y7} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_1 \cos\theta_1 & 0 & 0 \\ -I_1 \text{sen}\theta_1 & 0 & 0 \\ I_1 \cos\theta_1 & a_2 \cos\theta_2 & 0 \\ -I_1 \text{sen}\theta_1 & -a_2 \text{sen}\theta_2 & 0 \\ I_1 \cos\theta_1 & I_2 \cos\theta_2 & a_3 \cos\theta_3 \\ -I_1 \text{sen}\theta_1 & -I_2 \text{sen}\theta_2 & -a_3 \text{sen}\theta_3 \\ I_4 \cos\theta_4 & 0 & 0 \\ -I_4 \text{sen}\theta_4 & 0 & 0 \\ I_4 \cos\theta_4 & a_5 \cos\theta_5 & 0 \\ -I_4 \text{sen}\theta_4 & -a_5 \text{sen}\theta_5 & 0 \\ I_4 \cos\theta_4 & I_5 \cos\theta_5 & a_6 \cos\theta_6 \\ -I_4 \text{sen}\theta_4 & -I_5 \text{sen}\theta_5 & -a_6 \text{sen}\theta_6 \\ I_7 \cos\theta_7 & -I_7 \cos\theta_7 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \\ \dot{\theta}_3 \\ \dot{\theta}_4 \\ \dot{\theta}_5 \\ \dot{\theta}_6 \\ \dot{\theta}_7 \end{bmatrix} \quad (32)$$

Tabla 18. Comparación modelos matemáticos vs modelo computacional

Comparación contra modelo computacional	SSIM (%)	Tiempo de proceso (s)
Modelo péndulo	85	100
Modelo siete segmentos	87	500

La comparación de los modelos presentada en la tabla 18, se realiza a través de las métricas SSIM, y tiempo de proceso contra un modelo generado por computador empleando OpenSim, en la tabla se observa la similitud en el comportamiento de los sistemas modelados, considerando su alta similaridad, el criterio de selección es el tiempo de proceso empleado.

5 INTEGRACIÓN DE COMPONENTES

De acuerdo a lo expuesto anteriormente, a fin de resolver los diversos objetivos, el proceso se divide en subprocesos y se realiza la valoración cuantitativa (en aspectos como el manejo de la iluminación adicionalmente se presenta un resultado cualitativo) de los diversos enfoques/técnicas de solución del subproceso, obteniéndose de cada valoración la técnica con mejor comportamiento, un resumen de los resultados experimentales obtenidos en el capítulo anterior se presenta en la tabla 19.

Tabla 19. Resultado de la valoración de componentes

Proceso	Técnica de mejor comportamiento
ILUMINACIÓN	MSRCR propuesto (ajustado respecto al clásico con una función de costo)
MODELO COMPUTACIONAL	HMM izquierda-derecha de cinco estados
CLASIFICADOR IA	Red bayesiana
MODELO	Péndulo doble invertido
BLUR (ADICIONAL)	Wavelet biortogonal

5.1 Datos de entrada

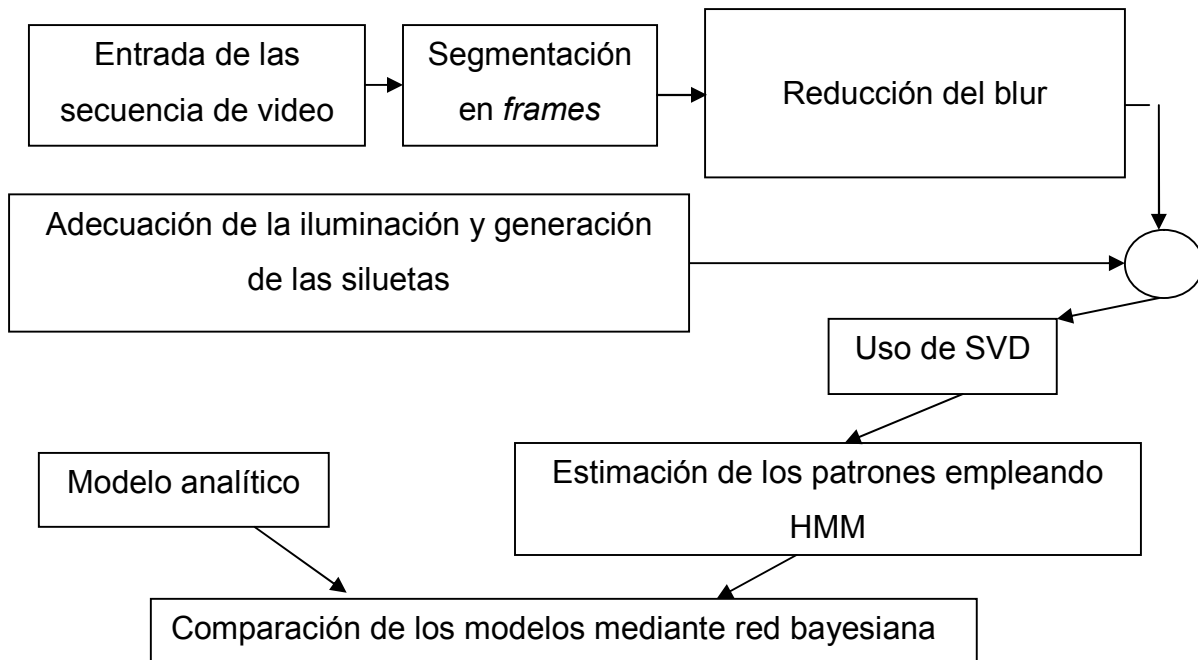
Para las etapas posteriores de valoración se emplean tres bases de imágenes de tipo académico[126]:

- La base de datos de movimiento corporal del Carnegie Mellon University (CMU) denominada CMU Mobo [27],
- La base de datos para reconocimiento de acciones humanas de la KTH [28]
- Los registros del Centro para investigación en biometría y seguridad del Instituto de automática de la academia China de Ciencias (CASIA)[30].

5.2 Proceso realizado

Las técnicas presentes en la tabla 19 se integran en la solución final, producto del trabajo de investigación, considerando el diagrama de flujo presentado en la figura 36.

Figura 36. Integración de los módulos



El modelo presentado en la figura 36, se entrena y valida con la información existente en la base de datos CMU Moby [27], la base de datos de acciones de la KTH[28] y los registros de siluetas del Instituto de automática de la academia China de Ciencias (CASIA)[30], considerando las tomas realizadas de manera sagital, algunas de las cuales se presentan en la figura 37, el detalle acerca de cada base de información se presenta en los anexos.

Figura 37. Ejemplos de las tomas usadas



a) Marcha lenta en caminadora CMU Mobo, b) Secuencia de marcha KTH, c) CASIA Gait DatasetA-silhouettes

5.2.1 Resultados experimentales

En las pruebas realizadas sobre el modelo final, se emplean como datos de entrada las tres bases de datos mencionadas, considerando las secuencias correspondientes a marcha sagital a velocidad lenta realizadas de manera transversal al mecanismo de adquisición.

Dichas secuencias se dividen en frames, siendo almacenados de manera similar a una matriz representando el movimiento, cada fila corresponde a la secuencia completa de la persona mientras cada columna corresponde a la etapa del movimiento subyacente, a fin de facilitar el procesamiento posterior se realizan las etapas de acondicionamiento de la información contenida en las imágenes (reducción del desenfoque y ajuste de la iluminación).

De manera posterior se realiza la reducción de información, a fin de obtener una representación adecuada de la información, empleando SVD sin ocasionar pérdidas de información útil para el análisis, disminuyendo de esta manera la carga computacional y el tiempo de proceso del algoritmo, se segmenta y determinan las variaciones angulares a entregar al modelo HMM.

Finalmente, se compara con el modelo analítico desarrollado para el movimiento bajo análisis, mediante una red bayesiana, para determinar su similitud con el movimiento considerado.

Durante el entrenamiento del mecanismo de clasificación del movimiento, se contempla la utilización del 70% de la secuencia del movimiento como datos de entrenamiento y el 30% restante como validación.

El proceso completo se realiza en tres ocasiones con cada dataset, considerando un desplazamiento cíclico sobre los datos empleados, los tiempos de proceso y porcentajes de coincidencia promedio se presentan en la tabla 20.

.Resultados con las bases de información empleadas

Fuente de datos	Porcentaje éxito (%)	Tiempo de proceso (secuencia de movimiento) (minutos)
CMU MoBo	67±5	130±10
KTH	78±3	170±50
CASIA	89±6	80±10

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

La adquisición de información relacionada con la marcha se puede realizar de diversas maneras, sin embargo gracias a la versatilidad, ventajas y potenciales aplicaciones, se imponen las técnicas en las cuales no hay contacto directo con la persona en supervisión y/o análisis. Las técnicas y herramientas derivadas de los registros fotográficos y video presentan ventajas como: la no alteración de los movimientos naturales, la existencia de herramientas software a través de las cuales se facilita el análisis de la información recogida, la no dependencia de un espacio físico para la adquisición de la información, sin embargo también tienen asociadas dificultades inherentes.

A pesar de ser un tema de investigación desde hace décadas, el análisis de la marcha aún tiene aspectos por estudiar como es el caso de: seguimiento automático, reconstrucción y reconocimiento sin relación con el punto de vista y el desarrollo de modelos genéricos capaces de identificar una mayor cantidad de movimiento, con las nuevas herramientas y técnicas, a través de los cuales es posible generar nuevas aplicaciones, en áreas como la seguridad y el entretenimiento.

Durante la revisión bibliográfica se observa gran cantidad de enfoques para resolver las dificultades inherentes con el proceso de adquisición de información visual, sin embargo no todas son útiles para el entorno de aplicación del presente proyecto.

Uno de los mayores problemas durante la adquisición, es el relacionado con las condiciones de iluminación del espacio, donde se realiza la adquisición de la

información, siendo la solución adecuada para minimizar el efecto adverso de ella, realizar una adecuación de la imagen a partir de la información espectral presente en las imágenes o videos, tal como fue expresado mediante los resultados experimentales de la sección 6.1

Con el trabajo realizado se desarrolla una herramienta de apoyo para el profesional encargado de la valoración de la marcha con la cual se reduce la subjetividad del proceso.

De la misma manera, el desarrollo de las contribuciones que soportan las hipótesis presentes en la sección 2.3. Se pueden verificar en la valoración de las técnicas presentes en la sección 6 y se resumen a continuación.

:

Hipótesis 1: *Un modelo automático para la determinación de la marcha analizada en el plano sagital, utilizando la silueta del paciente permite el análisis sin la utilización de marcadores.* Los resultados experimentales de las secciones 6.2, 6.3 y 7 ilustran la utilidad del modelo automático para la valoración, a pesar del tiempo de proceso observado presente en la tabla 20, los cuales se asocian a los procesos de ajuste de la información (iluminación, blur y selección de silueta)

Hipótesis 2: *Es posible reducir el impacto de las condiciones de iluminación durante el análisis de la marcha, mediante el uso de técnicas de mejora de imágenes.* Los resultados experimentales de la sección 6.1 ilustran la utilidad del modelo retinex multiscale con ajuste mediante función de costo para la tarea correspondiente.

Hipótesis 3: *Demostradas las dos anteriores hipótesis es posible integrarlas en una aplicación informática, convirtiéndose está en una herramienta de apoyo para el personal médico y paramédico.* La integración de las mejores técnicas descritas

y evaluadas en la sección 6 permite el desarrollo de un prototipo funcional elaborado en Matlab™. La utilidad de la misma se valoro con estudios pilotos enfocados en áreas como el entrenamiento deportivo de la marcha y la valoración postural aplicada en puestos de trabajo, permitiendo afectar de manera positiva en los procesos y la presentación de los resultados en eventos académicos.

RECOMENDACIONES

Como actividad a realizar con proyectos de índole y alcance similar, se recomienda realizar una comprobación contra una base de datos con mayor cantidad de actividades, como es el caso de base de datos UCF50[29], a fin de establecer la robustez del sistema.

La toma desde el plano frontal o posterior del movimiento se constituye en fuente adicional de información a usar como complemento a la toma sagital, siendo la dificultad a sortear la sincronización de las tomas, resuelto la dificultad el sistema podría usarse como apoyo el experto paramédico o entrenador deportivo, a fin de determinar las variaciones respecto al movimiento deseado. Sin embargo, esto modificaría el protocolo usado al interior del laboratorio de marcha UIS, alterando de manera radical en el proceso sobre el cual se pretende influir.

PARTICIPACIÓN EN EVENTOS Y REVISTAS

Durante el cumplimiento de los objetivos del trabajo trazado, fue posible generar las siguientes participaciones en eventos académicos y la publicación de resultados parciales en tres publicaciones indexadas. A continuación se relaciona la información detallada de dichas participaciones.

REVISTAS CIENTÍFICAS

J.J Sanabria, JF Archila D, "Detección y análisis de movimiento usando visión artificial", Revista Scientia Et Technica ISSN: 0122-1701, Editorial: Universidad Tecnológica de Pereira v.3 *fasc.*49 p.180 - 188, (2011).
Índice en Publindex C

J.J Sanabria, JF Archila D, "Obtención automática de siluetas a partir de imágenes adquiridas en condiciones de iluminación no controlada". En: Colombia Revista Iteckne ISSN: 1692-1798, Editorial La Bastilla. v.9 *fasc.*1 p.99 – 106, (2012).
Índice en Publindex B

J.J Sanabria, JF Archila D, "Evaluación de técnicas usadas en la restauración de imágenes afectadas por desenfoque (BLUR)". En: Colombia. Revista Scientia Et Technica ISSN: 0122-1701, Editorial: Universidad Tecnológica de Pereira v.2 *fasc.*51 p.145 - 154, (2012).
Índice en Publindex C

PONENCIAS INTERNACIONALES

J.J Sanabria S, J.F Archila D, J.C Moreno M, L.X Bautista R. "Análisis biomecánico de la postura mediante técnicas videogramétricas", en memorias: Congresso Nacional de Engenharia Mecânica ISSN 2178-180X, Brasil, (2012).
Sociedad Científica encargada Associação Brasileira de engenharia e ciências mecânicas (ABCM)

J.J Sanabria S, J.F Archila D, F.A Villafrades, "Entrenamiento deportivo de la marcha olímpica asistido por técnicas videogramétricas", en memórias Congresso Nacional de Engenharia Mecânica ISSN 2178-180X, Brasil (2012).

Sociedad Científica encargada: Associação Brasileira de engenharia e ciências mecânicas (ABCM)

J.J Sanabria S, J.F Archila D,F.A Villafrades, "Reconocimiento de Actividades Humanas Mediante Modelos Estocásticos" en memorias XV Convención y Feria Internacional 2013 Informática 2013 La Habana, Cuba (2013)

Sociedad Científica encargada: Ministerio de la Informática y las Comunicaciones, de la República de Cuba, universidad de las ciencias informáticas, Instituto superior politécnico José Antonio Echevarría, Universidad de oriente

PONENCIAS NACIONALES

J.J Sanabria S, J.F Archila D John, "Análisis armónico en la restauración de imágenes afectadas por desenfoque (Blur). Comparación mediante métricas", en memorias XVI Simposio de Tratamiento de Señales, Imágenes y Visión Artificial (STSIVA 2011).ISBN 978-958-8347-55-4, Cali-Col (2011).

Sociedad Científica encargada IEEE signal processing society Región 9 Colombia

REFERENCIAS

- [1] D.H. Sutherland, "The evolution of clinical gait analysis part I Kinesiological EMG," *Gait & Posture* 14, pp. 61-70, 2001.
- [2] S. Collado, *Análisis de la marcha humana con plataformas dinamométricas. influencia del transporte de carga.*, Facultad de medicina Tesis doctoral, Ed. Madrid, España: Universidad Complutense de Madrid, 2002.
- [3] R Baker, "The History of Gait Analysis Before the Advent of Modern Computers," *Gait & Posture* 26, pp. 331-342, 2007.
- [4] Organización Mundial de la Salud, "Informe mundial sobre la discapacidad," Malta, Informe estad 2011.
- [5] Ministerio de Salud y Protección social. (2012, Septiembre) Cifras registro de discapacidad. [Online]. <http://www.minsalud.gov.co/Documentos%20y%20Publicaciones/Formas/DispForm.aspx?ID=2344>
- [6] DANE, "Censo Colombia-Componente Discapacidades," 2005.
- [7] A. Villa M, E. Gutierrez G, and J.C. Pérez M, "Consideraciones para el Análisis de la Marcha Humana. Técnicas de Videogrametría, electromiografía y Dinamometría," *Revista Ingeniería Biomédica ISSN 1909-9762*, vol. 2, no. 3, pp. 16-26, 2008.
- [8] T Al-Ani, Q Le Ba, and E Monacelli, "Online Automatic Detection of Human Activity in Home Using Wavelet and Hidden Markov Models Scilab Toolkits.," in *Proceeding of 16TH International Conference on Control Applications. 2007*, 2007, pp. 485 - 490.
- [9] C.W. Cho, W.H. Chao, S.H. Lin, and Y.Y. Chen, "A Vision-Based Analysis for Gait recognition in patients with parkinson's Disease.," *Expert Systems With Applications* 36, pp. 7033-7039, 2009.

- [10] S.J. Park, S.C. Park, J.H. Kim, and C.B. Kim, "Biomechanical Parameters on Body Segments of Korean Adults," *International Journal of Industrial Ergonomics* 23, pp. 23-31, 1999.
- [11] F.M.M.O Campos and J.M.F Calado, "Approaches to Human Arm Movement Control A Review," *Annual Reviews in Control* 22, pp. 69-77, 2009.
- [12] T. Moeslund, A. Hilton, and V. Kruger, "A Survey of Advances in Vision based Human Motion Capture and Analysis," *Computer Vision and Image Understanding* 104, pp. 90-126, 2006.
- [13] B. Boulay, F. Brémond, and M. Thonnant, "Applying 3D Human Model in a Posture Recognition System," *Pattern Recognition Letters* 27, pp. 1788-1796, 2006.
- [14] L. Forero, P.J Rincón Q, and N. Céspedes, "Análisis Fílmico del ciclo de Marcha mediante Procesamiento Digital de Imágenes," Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica Y Telecomunicaciones, Universidad Industrial de Santander, Tesis de Pregrado 2001.
- [15] M Abi Hayla, G Salim, E David, and K Mohammad, "An Automated Method for Analysis of gait data to Aid Clinical interpretation," in *IEEE Proceeding*, 2011, pp. 1-3.
- [16] R. Poppe, "A Survey on Vision based Human Action Recognition," *Image and Vision Computing* 28, pp. 976-990, 2010.
- [17] S. Sheldon R, "Quantification of Human Motion: Gait Analysis - Benefits and Limitations to its Application to Clinical Problems," *Journal of Biomechanics* 37, pp. 1869-1880, 2004.
- [18] F Rebelo, C Ferreira, Correia Da Silva, and K, "Síntese de Padroes Motores de Membro Superior Optimizados para Aplicações em Design Ergonómico," in *Memories do VI Congresso Nacional de Mecânica Aplicada e Computacional*, 2000, pp. 181-190,

<http://home.fmh.utl.pt/~cferreira/>

- [19] F. Hernandez S, "Diseño y Construcción de Prototipo neumático de Pierna Humana. Biomecánica de la Marcha Humana Tesis Licenciatura en Ingeniería en Electrónica y Computadoras Cap 3," Universidad de las Américas, 2008.
- [20] D. Blana, "A Musculoskeletal Model of the Upper extremity for use in the Development of Neuroprosthetic system," *Journal of Biomechanics* 41, pp. 1714-1721, 2008.
- [21] S. Collado V, "Desarrollo de la Marcha," *Revista de la Facultad de Ciencias de la salud, Vol 3-año 2005*, pp. 1-23, 2005.
- [22] A. Ferrari et al., "Quantitative Comparison of Five Current Protocols in Gait Analysis," *Gait & Posture*, pp. 207-216, 2008.
- [23] D. Sutherland, "The Evolution of Clinical Gait Analysis Part II Kinematics," *Gait & Posture*, vol. 16, no. 2, pp. 159-179, 2002.
- [24] H. Bouwsema, C. Van der Sluis, and R. Bongers, "Movement Characteristics of Upper Extremity Prostheses during Basic Goal-directed Tasks," *Clinical Biomechanics*, vol. 25, no. 6, pp. 523-529, 2010.
- [25] F. Tafazzoli and S. Reza, "Model-Based Human Gait Recognition using Leg Arm Movements," *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 23, no. 8, pp. 1237-1246, 2010.
- [26] C. Cifuentes, F. Martínez, and E. Romero, "Análisis teórico y computacional de la marcha normal y patológica: una revisión," *Revista med*, vol. 18, no. 2, pp. 182-196, 2010.
- [27] R. Gross and J. Shi, "The CMU Motion of Body (MoBo) Database," Robotics Institute, Carnegie Mellon University, Tech. Report CMU-RI-TR-01-18 2001.
- [28] KTH Royal Institute of Technology. (2005, Enero) Recognition of human actions-Action Database. [Online].

<http://www.nada.kth.se/cvap/actions/>

- [29] University of Central Florida. (2012, Septiembre) Center for Research in Computer Vision. [Online]. <http://crcv.ucf.edu/data/UCF50.php>
- [30] The Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences (CASIA). (2001) Center for biometrics and security research. [Online]. <http://www.cbsr.ia.ac.cn/english/Gait%20Databases.asp>
- [31] V. Mamania, "Markless Motion Capture from Monocular Videos," in *Memorias In Indian Conference on Computer*, 2004, pp. 1-7.
- [32] A Ali and D Potter, "A Novel Signal Processing Circuit for Contacless Motion Detection," *Sensors and Actuators A* 157, pp. 173-177, 2010.
- [33] J.J. Garrido C, R. Medina-Carnicer, and A. Marinez G, "Design and Evaluation of a New Three Dimensional Motion Capture System Based on Video," *Gait & Posture* 24, pp. 126-129, 2006.
- [34] E. Hassan, T. Jenkyn, and C. Dunning, "Direct Comparision of Kinematic Data collected using an Electromagnetic Tracking System versus a Digital Optical System," *Journal of biomechanics* 70, pp. 930-935, 2007.
- [35] P. Rodacki, "Sistema Optico de Captura do Movimento Humano 2D sem Utilizacao de Marcacoes Especiais," in *Memorias del III Congreso Brasileiro de Computacao CBCOMP*, 2003, pp. 128-135.
- [36] C. Rustin, "Physiological modelling and dynamic simulation of human walking," Universidad de Mons,Canada, Disertacion de doctorado 2010.
- [37] S. Delp et al., "Opensim: open source software to create and analyze dynamic simulations of movement.," *IEEE transactions of biomedical engineering*, vol. 54, no. 11, p. 15, 2007.
- [38] R Baecker, "Towards a Laboratory Instrument for Motion Analysis,"

Revista ACM Computer Graphics, vol. 15, no. 3, pp. 191-197 , 1981.

- [39] R. Chellapa, A. Roychowdhury, and A. Sundaesan, "A Hidden Markov Model Based Framework for Recognition of Humans from Gait Sequences," in *Proceeding of International Conference on Image Processing*, 2003, pp. II - 93-6 vol.3.
- [40] S. Collado, F.,Álvarez,A. Gómez, and L. Rodriguez R, "Análisis de la Marcha. Factores Moduladores," *Revista de la Facultad de Ciencias de la Salud*, VOL 1-AÑO 2003, pp. 1-13, 2003.
- [41] M Ahmad and S.W Lee, "Variable Silhoutte Energy Image Representations for Recognizing Human Actions," *Image and Vision Computing* 28, pp. 814-824, 2010.
- [42] C. Chui and J. Wang, "Wavelet based Minimal Energy approach to Image Restoration," *Revista Applied and Computational Harmonic Analysis*. 23, pp. 114-130, 2007.
- [43] R. Fergus, B. Singh, A. Hertzmann, S. Roweis, and W. Freeman, "Removing Camera Shake From A Single Photograph," in *ACM Transactions on Graphics (Proc. SIGGRAPH 2006)*., 2006, pp. 787-794.
- [44] L. Mundermann, S. Corazza, and T. Andriacchi, "Markerless Motion Capture for Biomechanical Applications," in *Human Motion-Undrestanding, Modelling, Capture and Animation.*: SPRINGER, 2008, pp. 377-398.
- [45] Ye. Lu and Z.N. Li, "Automatic Object Extraction and Reconstruction in Active Video," *Pattern Recognition* 41, pp. 1159-1172, 2008.
- [46] P. Fihl and T. Moeslund, "Recognizing Human Gait Types," in *Robot Vision*, ISBN 978953-3070773., 2010, pp. 1-26.
- [47] V. Ganaphati, C. Plagemann, D. Koller, and S. Thrun, "Real Time

- Motion Capture using a Single Time of Flight Camera," in *Proceedings Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2010, pp. 1-8.
- [48] T. Loose et al., "A Computer based Method to Assess Gait Data," in *IFMBE Proc. 2nd European Medical and Biological Engineering Conference (EMBEC)*, 2002, pp. 143-160.
- [49] C. Van Andel, K. Van Hutten, M. Eversdijk, D. Veeger, and J. Harlaar, "Recording Scapular Motion using an Acromion Marker Cluster," *Gait & Posture* 29, pp. 123-128, 2009.
- [50] M.T. De ossa and C. Granados, "Diseño y Construcción de un medidor de la Fuerza durante la Brazada de Natación en Estilo Libre.," *Revista de Ingeniería Biomédica Vol. 3 NO 6*, pp. 56-63, 2009.
- [51] T. Hu, Z. Lin, M. Abel, and P. Allaire, "Human Gait Modelling: Dealing with Holonomic Constraints," in *The 2004 American Control Conference*, 2004, pp. 2296-2301, [HTTP://biblioteca.universia.net/html_bura/ficha/params/title/human-gait-modeling-dealing-with-holonomic-constraints/](http://biblioteca.universia.net/html_bura/ficha/params/title/human-gait-modeling-dealing-with-holonomic-constraints/).
- [52] N. Scaffetta, D. Marchi, and B.J. West, "Understanding the Complexity of Human Gait Dynamics," *Chaos*, vol. 19, no. 2, 2009, 026108. doi: 10.1063/1.3143035.
- [53] F.C. Su, "Human Movement," National Cheng Kung University Institute of Biomedical Engineering, Taiwan, Documento de clase 2010.
- [54] JK Aggarwal and MS. Ryoo, "Toward a unified framework of motion understanding.," *Image and vision computing*, vol. 30, no. 8, pp. 465-466 , 2012.
- [55] S. Bonnet and P. Jallon, "Hidden Markov Models applied onto Gait Classification.," in *Proceeding of the 18Th European Signal*

Processing Conference (EUSIPCO-2010), 2010, pp. 47-53.

- [56] A. Gorrotzategi and P. Aranzabal, *El movimiento Humano Bases anatomo-fisiológicas*. Madrid: Gymnos editorial deportiva, 1996.
- [57] A Baca, "Methods for recognition and classification of human motion patterns- a prerequisite for intelligent devices assisting in sports activities," in *7th vienna conference on mathematical modelling*, 2012, pp. 55-61.
- [58] C. Shen, X. Lin, and Y. Shi, "Moving Object tracking Under Varing Illuminations Conditions," *Pattern Recognition Letters* 27, pp. 1632-1643, 2006.
- [59] T.F Xu and P. Zhao, "Interlaced Scan CCD Image Motion Deblur for Space Variante Motion Blurs," *Optik - International Journal for Light and Electron Optics*, vol. 122, no. 8, pp. 719-723, 2011.
- [60] S.J. Sun, Q. Wu, and G.H. Li, "Blind Image Deconvolution for Single Motion Blurred Image. The Journal of China Universities of Posts and Telecommunications. 17(3)," pp. 104-109, 2010.
- [61] K.V. Pankjakshan P, "Detail Preserving Image Information Restoration Guided by SVM Based Noise Mapping," *Digital Signal Processing* 17, pp. 561-577, 2007.
- [62] M.H. Cheng, Ho, M.F., and C.L. Huang, "Gait Analysis for Human Identification through Manifold Learning and HMM.," *Pattern Recognition* 44, pp. 2541-2553, 2008.
- [63] M. Storrang, T. Kocka, H. Andersern, and E. Granum, "Tracking Regions of Human Skin through Illumination Changes.," *Pattern Recognition Letters* 24, pp. 1715-1723, 2003.
- [64] M Alaqtash, H Yu, R Brower, A Abdelgawad, and T Sarkodie-Gyan, "Application of Wearable Sensors for Human Gait Analysis using Fuzzy Computational Algorithm.," *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 24, no. 6, pp. 1018–1025, 2010.

- [65] G. Caridakis, "SOMM Self Organizing Markov Map for Gesture Recognition," *Pattern Recognition Letters* 31, pp. 52-59, 2010.
- [66] L. Ren, D. Howard, and L. Kenney, "Computational models to synthesize human walking.," *Journal of bionic engineering* 3, pp. 127-138, 2006.
- [67] S. Srinivasan, "Low dimensional modeling and analysis of human gait with application to the gait of transtibial prosthesis users.," The Ohio State University, Technical inform 2007.
- [68] L. Ren, R. Jones, and D. Howard, "Predictive modelling of human walking over a complete gait cycle.," *Journal of biomechanics* 40, pp. 1567-1574, 2007.
- [69] S. Delp and J. Peter Loan, "A computational framework for simulating and analyzing human and animal movement.," *Revista Computing in science & engineering IEEE september/octubre*, vol. 2, no. 5, pp. 46-55 , 2000.
- [70] J Ambrosio and A Kecskemethy, "Multibody dynamics of biomechanical models fo human motion via optimization.," in *Multibody dynamics. Computational methods and applications.*: Springer, 2007, pp. 245-272.
- [71] B. Dariush, "Human motion analysis for biomechanics and biomedicine.," in *Machine vision and applications 14.*, 2003, pp. 202-205.
- [72] X. Han, "gait recognition considering walking direction," *IEEE Conference on Cybernetics and Intelligent Systems*, pp. pp. 1-5, 2006.
- [73] J Bae and M Tomizuka, "Gait Phase Analysis Based on a Hidden Marlov Model," *Revista Mechatronics*, vol. 21, no. 6, pp. 961–970, 2011.
- [74] Y. Li, "Hidden Markov Models with States Depending on

- Observations," *Pattern Recognition Letters* 26, pp. 977-984, 2005.
- [75] J. Zeng, J. Duan, and C. Wu, "A New Distance Measure for Hidden Markov Models," *Expert Systems with Application* 37, pp. 1550-1555, 2010.
- [76] I. Visser, "Seven Things to Remember about Hidden Markov Models: A Tutorial on Markovian Models for Time Series," *Journal of Mathematical Psychology* 55, pp. 403-415, 2011.
- [77] L. Yujian, "Hidden Markov Models with States Depending on Observations," *Pattern Recognition Letters* 26, pp. 977-984, 2005.
- [78] M. Bicego, E. Pekalska, D. Tax, and R. Duin, "Component Based Discriminative Classification for Hidden Markov Models," *Pattern Recognition Letters* 42, pp. 2367-2648, 2009.
- [79] W. Wong and J. Chin L, "Realistic Disturbance Modelling using Hidden Markov Models: Applications in Model Based Process Control," *Journal of Process Control* 19, pp. 1438-1450, 2009.
- [80] W. Yu and G. Sheble, "Modeling Electricity Markets with Hidden Markov Model," *Electric Power Systems Research* 76, pp. 445-451, 2006.
- [81] V. Genon-Catalot and C. Laredo, "Leroux Method for General Hidden Markov Models," *Stochastics Processes and Their Applications* 116, pp. 222-243, 2006.
- [82] D. Bouchaffra, "Embedding HMMS based Models in a Euclidian Space: The Topological Hidden Markov Models," *Pattern Recognition* 43, pp. 2590-2607, 2010.
- [83] C. Chen, J. Liang, H. Zhao, and H. Hu, "Gait Recognition using Hidden Markov Models," in *Proceedings of International Conference on Natural Computing (ICNC 2006) PART I*, 2006, pp. 123-138.
- [84] A. Gellert and L. Vintan, "Person Movement Prediction using

Hidden Markov Models," *Revista Studies in Informatics and Control* VOL 15 N. 1, pp. 1-20, 2006.

- [85] N. Oliver, B. Rosario, and A. Pentland, "A Bayesian Computer Vision System for Modeling Human Interactions.," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* VOL 22 N 8, pp. 1-13, 2000.
- [86] R. Zhang, C. Vogler, and D. Metaxas, "Human Gait Recognition at Sagittal Plane.," *Image and Vision Computing* 25, pp. 321-330, 2007.
- [87] Z. Xue, D. Ming, W. Song, B. Wan, and S. Jin, "Infrared Gait Recognition based on Wavelet Transform and Support Vector Machines," *Pattern Recognition* 43, pp. 2904-2910, 2010.
- [88] J. Ranz, A. Ribeiro, and X. Burgos-Artizuu, "Algoritmos Genéticos Aplicados a la Segmentación de Imágenes con iluminación no controlada," in *Memorias de las Jornadas de Automática*, Tarragona, 2008, pp. 1-6.
- [89] A. Bouhamidi, "An Iterative Method for Bayesian Gauss-Markov Image Restoration.," *Applied Mathematical Modelling* 33, pp. 361-372, 2009.
- [90] A. Rav-Acha and S. Peleg, "Two Motion Blurred Images are Better than one," *Pattern Recognition Letters* 26 (2005) 311-317, pp. 311-317, 2005.
- [91] J.J. Pantrigo, "Análisis biomecánica del movimiento humano mediante técnicas de visión artificial," *Aplicaciones de la Visión Artificial y la Biometría Informática*, pp. 51-64, 2004.
- [92] G. Pajares M and J. M.,García T.A. De La Cruz G, *Visión por computador: Imágenes Digitales Y Aplicaciones*, 2nd ed. MÉXICO: AlfaOmega: Ra-Ma, 2008.
- [93] R. Gonzalez, R. Woods, and S. Eddin, *Digital image processing*

using matlab., 2nd ed. New Jersey, Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, 2003, vol. 2, ISBN:0130085197.

- [94] C. Liu and P. Yuen, "Human Action Recognition using Boosted Eigenactions," *Image and Vision Computing* 28, pp. 825-835, 2010.
- [95] G. Ginesu, F. Massidda, and D. Giusto, "A Multi Factor Approach for Image Quality Assessment Based on a Human Visual System Model," *Signal Processing Image Communication* 21, pp. 316-333, 2006.
- [96] Y. Wang, "Survey of Objective Video Quality Measurements," EMC Corporation Hopkinton, Technical report 2006.
- [97] W. Lin and J. Kuo C-C, "Perceptual visual quality metrics: A survey," *Journal of Visual Communication and Image Representation - Elsevier* 22, pp. 297-312, 2011.
- [98] A. Prati, I., Trivedi, M. Mikic, and R. Cucchiara, "Detecting moving shadows: algorithms and evaluation.," *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, Vol 25, No 7, pp. 918-923, 2003.
- [99] A. Sanin, C. Sanderson, and B. Lovell, "Shadow detection: a survey and comparative evaluation of recent methods.," *Pattern recognition* 45, pp. 1684-1695, 2012.
- [100] P. Jain, J. Garibaldi, and J. Hirst, "Supervised machine learning algorithms for protein structure classification.," *Computational biology and chemistry*. 33, pp. 216-233, 2009.
- [101] Zohair Al-ameen, Ghazali Sulong, and Gapar. Johar, "Employing a suitable contrast enhancement technique as a prerestoration adjustment phase for computed tomography medical images," *International Journal of Bio-science and Bio Technology*. Vol 5, no 1, February 20, 2013.
- [102] manpreet Kaur, Jasdeep Kaur, and Jappreet. kaur, "Survey of contrast enhancement techniques based on histogram

equalization.," *International journal of advanced computer science and applications.*, vol. 2, no. 7, 2011.

- [103] Numan Unaldi, praveen sankaran, vijayan asari, and zia-ur rahman, "Image enhancement for improving face detection under non uniform lighting conditions.," in *Proceedings of the international conference on image processing ICIP*, San Diego, California, 2008.
- [104] Zia-ur Rahman, Gleen Woodell, and Daniel J. Jobson, "A retinex processing for automatic image enhancement," *Journal or electronic imaging*, vol. 13, no. 1, pp. 100-110, January 2004.
- [105] N. Durango L, G. Bizai, and B. Drozdowicz, "Implementacion y aplicación de algoritmos retinex al procesamiento de imágenes de retinografia color," *Revista ingenieria Biomedica.*, vol. 3, no. 6, pp. 36-46, julio-diciembre 2009.
- [106] Zia-ur Rhman, Daniel j Jbson, and Gleen Woodell, "Investigating the relationship between image enhancement and image compresion in the context of the multi-scale retinex," *J Vis commun Image R* 22, pp. 237-250, 2011.
- [107] A Aleti, B Buhnova, L Grunske, A Koziolk, and A Meedeniya, "Software architecture optimization methods: A systematic Literature Review," *IEEE Software engineering transactions*, vol. 39, no. 5, Agosto 2013.
- [108] Janet Ogbenege and Airen Adetimirin, "Selection and use of KOHA softwarein two private nigerian universities," *Library Hi Tech News*, vol. 30, no. 6, pp. 12-16, 2013.
- [109] N. Unaldi, P. Sankaran, V. Asari, and Z.U. zia-ur Rahman, "Image enhancement for improving face detection under non uniform lighting conditions.," in *Proceedings of the international conference on image processing ICIP*, San Diego, California, 2008, pp. 1332 - 1335.

- [110] R. Ureña, P. Martinez-Cañada, J.M. Gomez-Lopez, C. Morillas, and F. Pelayo, "Real time tone mapping on GPU and FPGA.," *EURASIP Journal on Image and Video Processing*, vol. 1, pp. 123-135, 2012, doi:10.1186/1687-5281-2012-1.
- [111] Z.U Rahman, G. Woodell, and D.J. Jobson, "A retinex processing for automatic image enhancement," *Journal of electronic imaging*, vol. 13, no. 1, pp. 100-110, January 2004.
- [112] W. Hao, M He, H. Ge, C.J Wang, and Q.W. Gao, "Retinex like method for image enhancement in poor visibility conditions. Advanced in control engineering and information science.," *Journal Procedia engineering 15*, pp. 2798-2803, 2011.
- [113] M. Kaur, J. Kaur, and J. Kaur, "Survey of contrast enhancement techniques based on histogram equalization.," *International journal of advanced computer science and applications.*, vol. 2, no. 7, pp. 16-23, 2011.
- [114] Z Al-ameen, G Sulong, and G. Johar, "Employing a suitable contrast enhancement technique as a pre-restoration adjustment phase for computed tomography medical images," *International Journal of Bio-science and Bio Technology. Vol 5, no 1, February 20*, 2013.
- [115] S. Fernandes, J. Teixeira de Assis, M. Peigas Pacheco, V. Vieira Estrela, and I. De Araujo Medina, "Desenvolvimento de uma ferramenta computacional para o processamento de imagens estereoscópicas," in *Proceedings XXX Congresso Nacional de Matemática Aplicada e computacional*, 2007.
- [116] Z.U. Rahman, D.j. Jobson, and G. Woodell, "Investigating the relationship between image enhancement and image compression in the context of the multi-scale retinex," *J Vis commun Image R 22*, pp. 237-250, 2011.

- [117] D. Prassana, P. Neelamegan, and N. Raju, "Enhancement of vein patterns in hand image for biometric and biomedical application using various image enhancement techniques.," *Procedia engineering* 38, pp. 1174-1185, 2012.
- [118] C.T. Sang, "Motion Blur Removal from Photographs," Massachusetts Institute of Technology (MIT), Boston, PhD Thesis 2010.
- [119] I. Makaremi and M. Ahmadi, "Blur invariants: a novel representation in the wavelet domain.," *Pattern recognition* 43, pp. 3950-3957, 2010.
- [120] J. Oliveira, "Adaptive total variation image deblurring. A majorization -minimization approach," *Signal Processing* 89, pp. 1683-1693, 2009.
- [121] V. Caglioti and A. Giusti, "Recovering ball motion from a single motion-blurred image.," *Computer vision and image understanding* 113, pp. 590-597, 2009.
- [122] J. Mazzeo, G. Campiglio, D. Trincero, and T. Kelly, "Un modelo de integracion y disparo para representar la marcha humana normal," in *actas de ingenieria clinica y tecnologia medica*, Parana-entrierios, Febrero 2010. [Online]. <http://www.bioingenieria.edu.ar/grupos/geic/biblioteca/archivos/Trabypres/T10TCAr38.pdf>
- [123] J. Tan, "advancing clinical gait analysis through technology and policy," Tesis maestria Massachusetts Institute of Technology MIT 2006.
- [124] L.E. Contreras Bravo and M. A. Roa Garzon, "Modelamiento de la marcha humana por medio de graficos de union," *Revista tecnura*, vol. año 8, Nro 16, pp. 26-43, 2005.
- [125] L. Contreras Bravo and L. F. Vargas Tamayo, "Generacion de modelos de caminata bipeda a traves de diversas tecnicas de

modelamiento," *Revista científica y tecnologica de la facultad de ingenieria (tecnura)*, vol. 11, no. 2, 2007.

- [126] N. Ponomarenko et al., "TID2008 - A Database for Evaluation of Full-Reference Visual Quality Assessment Metrics," *Advances of Modern Radioelectronics*, vol. 10, pp. 30-45, 2009.

BIBLIOGRAFIA

A Aleti, B Buhnova, L Grunske, A Koziolak, and A Meedeniya, "Software architecture optimization methods: A systematic Literature Review," *IEEE Software engineering transactions*, vol. 39, no. 5, Agosto 2013.

A Ali and D Potter, "A Novel Signal Processing Circuit for Contactless Motion Detection," *Sensors and Actuators A* 157, pp. 173-177, 2010.

A Baca, "Methods for recognition and classification of human motion patterns- a prerequisite for intelligent devices assisting in sports activities," in *7th vienna conference on mathematical modelling*, 2012, pp. 55-61.

A. Bouhamidi, "An Iterative Method for Bayesian Gauss-Markov Image Restoration.," *Applied Mathematical Modelling* 33, pp. 361-372, 2009.

A. Ferrari et al., "Quantitative Comparison of Five Current Protocols in Gait Analysis," *Gait & Posture*, pp. 207-216, 2008.

A. Gellert and L. Vintan, "Person Movement Prediction using Hidden Markov Models," *Revista Studies in Informatics and Control* VOL 15 N. 1, pp. 1-20, 2006.

A. Gorrotzategi and P. Aranzabal, *El movimiento Humano Bases anatomo-fisiológicas*. Madrid: Gymnos editorial deportiva, 1996.

A. Prati, I., Trivedi, M. Mikic, and R. Cucchiara, "Detecting moving shadows: algorithms and evaluation.," *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, Vol 25, No 7, pp. 918-923, 2003.

A. Rav-Acha and S. Peleg, "Two Motion Blurred Images are Better than one," *Pattern Recognition Letters* 26 (2005) 311-317, pp. 311-317, 2005.

- A. Sanin, C. Sanderson, and B. Lovell, "Shadow detection: a survey and comparative evaluation of recent methods.," *Pattern recognition* 45, pp. 1684-1695, 2012.
- A. Villa M, E. Gutierrez G, and J.C. Pérez M, "Consideraciones para el Análisis de la Marcha Humana. Técnicas de Videogrametría, electromiografía y Dinamometría," *Revista Ingeniería Biomédica ISSN 1909-9762*, vol. 2, no. 3, pp. 16-26, 2008.
- B. Boulay, F. Brémond, and M. Thonnant, "Applying 3D Human Model in a Posture Recognition System," *Pattern Recognition Letters* 27, pp. 1788-1796, 2006.
- B. Dariush, "Human motion analysis for biomechanics and biomedicine.," in *Machine vision and applications 14.*, 2003, pp. 202-205.
- C. Chen, J. Liang, H. Zhao, and H. Hu, "Gait Recognition using Hidden Markov Models," in *Proceedings of International Conference on Natural Computing (ICNC 2006) PART I*, 2006, pp. 123-138.
- C. Chui and J. Wang, "Wavelet based Minimal Energy approach to Image Restoration," *Revista Applied and Computational Harmonic Analysis*. 23, pp. 114-130, 2007.
- C. Cifuentes, F. Martínez, and E. Romero, "Análisis teórico y computacional de la marcha normal y patológica: una revisión," *Revista med*, vol. 18, no. 2, pp. 182-196, 2010.
- C. Liu and P. Yuen, "Human Action Recognition using Boosted Eigenactions," *Image and Vision Computing* 28, pp. 825-835, 2010.
- C. Rustin, "Physiological modelling and dynamic simulation of human walking," Universidad de Mons,Canada, Disertacion de doctorado 2010.

- C. Shen, X. Lin, and Y. Shi, "Moving Object tracking Under Varing Illuminations Conditions," *Pattern Recognition Letters* 27, pp. 1632-1643, 2006.
- C. Van Andel, K. Van Hutten, M. Eversdijk, D. Veeger, and J. Harlaar, "Recording Scapular Motion using an Acromion Marker Cluster," *Gait & Posture* 29, pp. 123-128, 2009.
- C.T. Sang, "Motion Blur Removal from Photographs," Massachusetts Institute of Technology (MIT), Boston, PhD Thesis 2010.
- C.W. Cho, W.H. Chao, S.H. Lin, and Y.Y. Chen, "A Vision-Based Analysis for Gait recognition in patients with parkinson's Disease.," *Expert Systems With Applications* 36, pp. 7033-7039, 2009.
- D. Blana, "A Musculoskeletal Model of the Upper extremity for use in the Development of Neuroprosthetic system," *Journal of Biomechanics* 41, pp. 1714-1721, 2008.
- D. Bouchaffra, "Embedding HMMS based Models in a Euclidian Space: The Topological Hidden Markov Models," *Pattern Recognition* 43, pp. 2590-2607, 2010.
- D. Prassana, P. Neelamegan, and N. Raju, "Enhancement of vein patterns in hand image for biometric and biomedical application using various image enhancement techniques.," *Procedia engineering* 38, pp. 1174-1185, 2012.
- D. Sutherland, "The Evolution of Clinical Gait Analysis Part II Kinematics," *Gait & Posture*, vol. 16, no. 2, pp. 159-179, 2002.
- D.H. Sutherland, "The evolution of clinical gait analysis part I Kinesiological EMG," *Gait & Posture* 14, pp. 61-70, 2001.
- DANE, "Censo Colombia-Componente Discapacidades," 2005.
- E. Hassan, T. Jenkyn, and C. Dunning, "Direct Comparison of Kinematic Data collected using an Electromagnetic Tracking System versus a Digital Optical System," *Journal of biomechanics*

70, pp. 930-935, 2007.

F Rebelo, C Ferreira, Correia Da Silva, and K, "Síntese de Padroes Motores de Membro Superior Optimizados para Aplicações em Design Ergonómico," in *Memories do VI Congreso Nacional de Mecánica Aplicada e Computacional*, 2000, pp. 181-190, <http://home.fmh.utl.pt/~cferreira/>.

F. Hernandez S, "Diseño y Construcción de Prototipo neumático de Pierna Humana. Biomecánica de la Marcha Humana Tesis Licenciatura en Ingeniería en Electrónica y Computadoras Cap 3," Universidad de las Américas, 2008.

F. Tafazzoli and S. Reza, "Model-Based Human Gait Recognition using Leg Arm Movements," *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 23, no. 8, pp. 1237–1246, 2010.

F.C. Su, "Human Movement," National Cheng Kung University Institute of Biomedical Engineering, Taiwan, Documento de clase 2010.

F.M.M.O Campos and J.M.F Calado, "Approaches to Human Arm Movement Control A Review," *Annual Reviews in Control* 22, pp. 69-77, 2009.

G. Caridakis, "SOMM Self Organizing Markov Map for Gesture Recognition," *Pattern Recognition Letters* 31, pp. 52-59, 2010.

G. Ginesu, F. Massidda, and D. Giusto, "A Multi Factor Approach for Image Quality Assessment Based on a Human Visual System Model," *Signal Processing Image Communication* 21, pp. 316-333, 2006.

G. Pajares M and J. M., Garcia T.A. De La Cruz G, *Visión por computador: Imágenes Digitales Y Aplicaciones*, 2nd ed. MÉXICO: AlfaOmega: Ra-Ma, 2008.

H. Bouwsema, C. Van der Sluis, and R. Bongers, "Movement

Characteristics of Upper Extremity Prostheses during Basic Goal-directed Tasks," *Clinical Biomechanics*, vol. 25, no. 6, pp. 523-529, 2010.

I. Makaremi and M. Ahmadi, "Blur invariants: a novel representation in the wavelet domain.," *Pattern recognition* 43, pp. 3950-3957, 2010.

I. Visser, "Seven Things to Remember about Hidden Markov Models: A Tutorial on Markovian Models for Time Series," *Journal of Mathematical Psychology* 55, pp. 403-415, 2011.

J. Ambrosio and A. Kecskemethy, "Multibody dynamics of biomechanical models for human motion via optimization.," in *Multibody dynamics. Computational methods and applications.*: Springer, 2007, pp. 245-272.

J. Bae and M. Tomizuka, "Gait Phase Analysis Based on a Hidden Markov Model," *Revista Mechatronics*, vol. 21, no. 6, pp. 961-970, 2011.

J. Mazzeo, G. Campiglio, D. Trincero, and T. Kelly, "Un modelo de integración y disparo para representar la marcha humana normal," in *actas de ingeniería clínica y tecnología médica*, Parana-entrecorrientes, Febrero 2010. [Online].

<http://www.bioingenieria.edu.ar/grupos/geic/biblioteca/archivos/Tra bypres/T10TCAr38.pdf>

J. Oliveira, "Adaptive total variation image deblurring. A majorization -minimization approach," *Signal Processing* 89, pp. 1683-1693, 2009.

J. Ranz, A. Ribeiro, and X. Burgos-Artizuu, "Algoritmos Genéticos Aplicados a la Segmentación de Imágenes con iluminación no controlada," in *Memorias de las Jornadas de Automática*, Tarragona, 2008, pp. 1-6.

J. Tan, "advancing clinical gait analysis through technology and policy," Tesis maestria Massachusetts Institute of Technology MIT 2006.

J. Zeng, J. Duan, and C. Wu, "A New Distance Measure for Hidden Markov Models," *Expert Systems with Application* 37, pp. 1550-1555, 2010.

J.J. Garrido C, R. Medina-Carnicer, and A. Marinez G, "Design and Evaluation of a New Three Dimensional Motion Capture System Based on Video," *Gait & Posture* 24, pp. 126-129, 2006.

J.J. Pantrigo, "Análisis biomecánica del movimiento humano mediante técnicas de visión artificial," *Aplicaciones de la Visión Artificial y la Biometría Informática*, pp. 51-64, 2004.

Janet Ogbenege and Airen Adetimirin, "Selection and use of KOHA software in two private nigerian universities," *Library Hi Tech News*, vol. 30, no. 6, pp. 12-16, 2013.

JK Aggarwal and MS. Ryoo, "Toward a unified framework of motion understanding.," *Image and vision computing*, vol. 30, no. 8, pp. 465-466, 2012.

K.V. Pankajakshan P, "Detail Preserving Image Information Restoration Guided by SVM Based Noise Mapping," *Digital Signal Processing* 17, pp. 561-577, 2007.

KTH Royal Institute of Technology. (2005, Enero) Recognition of human actions-Action Database. [Online]. <http://www.nada.kth.se/cvap/actions/>

L. Contreras Bravo and L. F. Vargas Tamayo, "Generación de modelos de caminata bipeda a través de diversas técnicas de modelamiento," *Revista científica y tecnologica de la facultad de ingeniería (tecnura)*, vol. 11, no. 2, 2007.

L. Forero, P.J Rincón Q, and N. Céspedes, "Análisis Fílmico del

ciclo de Marcha mediante Procesamiento Digital de Imágenes," Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica Y Telecomunicaciones, Universidad Industrial de Santander, Tesis de Pregrado 2001.

L. Mundermann, S. Corazza, and T. Andriacchi, "Markerless Motion Capture for Biomechanical Applications," in *Human Motion-Undrestanding, Modelling, Capture and Animation.*: SPRINGER, 2008, pp. 377-398.

L. Ren, D. Howard, and L. Kenney, "Computational models to synthetize human walking.," *Journal of bionic engineering* 3, pp. 127-138, 2006.

L. Ren, R. Jones, and D. Howard, "Predictive modelling of human walking over a complete gait cycle.," *Journal of biomechanics* 40, pp. 1567-1574, 2007.

L. Yujian, "Hidden Markov Models with States Dependeng on Observations," *Pattern Recognition Letters* 26, pp. 977-984, 2005.

L.E. Contreras Bravo and M. A. Roa Garzon, "Modelamiento de la marcha humana por medio de graficos de union," *Revista tecnura*, vol. año 8, Nro 16, pp. 26-43, 2005.

M Abi Hayla, G Salim, E David, and K Mohammad, "An Automated Method for Analysis of gait data to Aid Clinical interpretation," in *IEEE Proceeding*, 2011, pp. 1-3.

M Ahmad and S.W Lee, "Variable Silhoutte Energy Image Representations for Recognizing Human Actions," *Image and Vision Computing* 28, pp. 814-824, 2010.

M Alaqtash, H Yu, R Brower, A Abdelgawad, and T Sarkodie-Gyan, "Application of Wearable Sensors for Human Gait Analysis using Fuzzy Computational Algorithm.," *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 24, no. 6, pp. 1018–1025, 2010.

M. Bicego, E. Pekalska, D. Tax, and R. Duin, "Component Based Discriminative Classification for Hidden Markov Models," *Pattern Recognition Letters* 42, pp. 2367-2648, 2009.

M. Kaur, J. Kaur, and J. Kaur, "Survey of contrast enhancement techniques based on histogram equalization.," *International journal of advanced computer science and applications.*, vol. 2, no. 7, pp. 16-23, 2011.

M. Storrang, T. Kocka, H. Andersern, and E. Granum, "Tracking Regions of Human Skin through Illumination Changes.," *Pattern Recognition Letters* 24, pp. 1715-1723, 2003.

M.H. Cheng, Ho, M.F., and C.L. Huang, "Gait Analysis for Human Identification through Manifold Learning and HMM.," *Pattern Recognition* 44, pp. 2541-2553, 2008.

M.T. De ossa and C. Granados, "Diseño y Construcción de un medidor de la Fuerza durante la Brazada de Natación en Estilo Libre.," *Revista de Ingeniería Biomédica Vol. 3 NO 6*, pp. 56-63, 2009.

manpreet Kaur, Jasdeep Kaur, and Jappreet. kaur, "Survey of contrast enhancement techniques based on histogram equalization.," *International journal of advanced computer science and applications.*, vol. 2, no. 7, 2011.

Ministerio de Salud y Protección social. (2012, Septiembre) Cifras registro de discapacidad. [Online]. <http://www.minsalud.gov.co/Documentos%20y%20Publicaciones/Forms/DispForm.aspx?ID=2344>

N. Durango L, G. Bizai, and B. Drozdowicz, "Implementacion y aplicación de algoritmos retinex al procesamiento de imágenes de retinografía color," *Revista ingeniería Biomedica.*, vol. 3, no. 6, pp. 36-46, julio-diciembre 2009.

N. Oliver, B. Rosario, and A. Pentland, "A Bayesian Computer Vision System for Modeling Human Interactions.," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* VOL 22 N 8, pp. 1-13, 2000.

N. Ponomarenko et al., "TID2008 - A Database for Evaluation of Full-Reference Visual Quality Assessment Metrics," *Advances of Modern Radioelectronics*, vol. 10, pp. 30-45, 2009.

N. Scaffetta, D. Marchi, and B.J. West, "Understanding the Complexity of Human Gait Dynamics," *Chaos*, vol. 19, no. 2, 2009, 026108. doi: 10.1063/1.3143035.

N. Unaldi, P. Sankaran, V. Asari, and Z.U. zia-ur Rahman, "Image enhancement for improving face detection under non uniform lighting conditions.," in *Proceedings of the international conference on image processing ICIP*, San Diego, California, 2008, pp. 1332 - 1335.

Numan Unaldi, praveen sankaran, vijayan asari, and zia-ur rahman, "Image enhancement for improving face detection under non uniform lighting conditions.," in *Proceedings of the international conference on image processing ICIP*, San Diego, California, 2008.

Organización Mundial de la Salud, "Informe mundial sobre la discapacidad," Malta, Informe estad 2011.

P. Fihl and T. Moeslund, "Recognizing Human Gait Types," in *Robot Vision*, ISBN 978953-3070773., 2010, pp. 1-26.

P. Jain, J. Garibaldi, and J. Hirst, "Supervised machine learning algorithms for protein structure classification.," *Computational biology and chemistry*. 33, pp. 216-233, 2009.

P. Rodacki, "Sistema Optico de Captura do Movimento Humano 2D sem Utilizacao de Marcacoes Especiais," in *Memorias del III Congreso Brasileiro de Computacao CBCOMP*, 2003, pp. 128-135.

- R Baecker, "Towards a Laboratory Instrument for Motion Analysis," *Revista ACM Computer Graphics*, vol. 15, no. 3, pp. 191-197, 1981.
- R Baker, "The History of Gait Analysis Before the Advent of Modern Computers," *Gait & Posture* 26, pp. 331-342, 2007.
- R. Chellapa, A. Roychowdhury, and A. Sundaresan, "A Hidden Markov Model Based Framework for Recognition of Humans from Gait Sequences," in *Proceeding of International Conference on Image Processing*, 2003, pp. II - 93-6 vol.3.
- R. Fergus, B. Singh, A. Hertzmann, S. Roweis, and W. Freeman, "Removing Camera Shake From A Single Photograph," in *ACM Transactions on Graphics (Proc. SIGGRAPH 2006)*., 2006, pp. 787-794.
- R. Gonzalez, R. Woods, and S. Eddin, *Digital image processing using matlab.*, 2nd ed. New Jersey, Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, 2003, vol. 2, ISBN:0130085197.
- R. Gross and J. Shi, "The CMU Motion of Body (MoBo) Database," Robotics Institute, Carnegie Mellon University, Tech. Report CMU-RI-TR-01-18 2001.
- R. Poppe, "A Survey on Vision based Human Action Recognition," *Image and Vision Computing* 28, pp. 976-990, 2010.
- R. Ureña, P. Martinez-Cañada, J.M. Gomez-Lopez, C. Morillas, and F. Pelayo, "Real time tone mapping on GPU and FPGA.," *EURASIP Journal on Image and Video Processing*, vol. 1, pp. 123-135, 2012, doi:10.1186/1687-5281-2012-1.
- R. Zhang, C. Vogler, and D. Metaxas, "Human Gait Recognition at Sagittal Plane.," *Image and Vision Computing* 25, pp. 321-330, 2007.
- S. Bonnet and P. Jallon, "Hidden Markov Models applied onto Gait

Classification.," in *Proceeding of the 18Th European Signal Processing Conference (EUSIPCO-2010)*, 2010, pp. 47-53.

S. Collado V, "Desarrollo de la Marcha," *Revista de la Facultad de Ciencias de la salud, Vol 3-año 2005*, pp. 1-23, 2005.

S. Collado, *Análisis de la marcha humana con plataformas dinamométricas. influencia del transporte de carga.*, Facultad de medicina Tesis doctoral, Ed. Madrid, España: Universidad Complutense de Madrid, 2002.

S. Collado, F.,Álvarez,A. Gómez, and L. Rodriguez R, "Análisis de la Marcha. Factores Moduladores," *Revista de la Facultad de Ciencias de la Salud, VOL 1-AÑO 2003*, pp. 1-13, 2003.

S. Delp and J. Peter Loan, "A computational framework for simulating and analyzing human and animal movement.," *Revista Computing in science & engineering IEEE september/octubre*, vol. 2, no. 5, pp. 46-55 , 2000.

S. Delp et al., "Opensim: open source software to create and analyze dynamic simulations of movement.," *IEEE transactions of biomedical engineering*, vol. 54, no. 11, p. 15, 2007.

S. Fernandes, J. Teixeira de Assis, M. Peigas Pacheco, V. Vieira Estrela, and I. De Araujo Medina, "Desenvolvimento de uma ferramenta computacional para o processamento de imagens estereoscópicas," in *Proceedings XXX Congresso Nacional de Matemática Aplicada e computacional*, 2007.

S. Sheldon R, "Quantification of Human Motion: Gait Analysis - Benefits and Limitations to its Application to Clinical Problems," *Journal of Biomechanics* 37, pp. 1869-1880, 2004.

S. Srinivasan, "Low dimensional modeling and analysis of human gait with application to the gait of transtibial prosthesis users.," The Ohio State University, Technical inform 2007.

S.J. Park, S.C. Park, J.H. Kim, and C.B. Kim, "Biomechanical Parameters on Body Segments of Korean Adults," *International Journal of Industrial Ergonomics* 23, pp. 23-31, 1999.

S.J. Sun, Q. Wu, and G.H. Li, "Blind Image Deconvolution for Single Motion Blurred Image. The Journal of China Universities of Posts and Telecommunications. 17(3)," pp. 104-109, 2010.

T Al-Ani, Q Le Ba, and E Monacelli, "Online Automatic Detection of Human Activity in Home Using Wavelet and Hidden Markov Models Scilab Toolkits.," in *Proceeding of 16TH International Conference on Control Applications. 2007*, 2007, pp. 485 - 490.

T. Hu, Z. Lin, M. Abel, and P. Allaire, "Human Gait Modelling: Dealing with Holonomic Constraints," in *The 2004 American Control Conference*, 2004, pp. 2296-2301, [HTTP://biblioteca.universia.net/html_bura/ficha/params/title/human-gait-modeling-dealing-with-holonomic-constraints/](http://biblioteca.universia.net/html_bura/ficha/params/title/human-gait-modeling-dealing-with-holonomic-constraints/).

T. Loose et al., "A Computer based Method to Assess Gait Data," in *IFMBE Proc. 2nd European Medical and Biological Engineering Conference (EMBEC)*, 2002, pp. 143-160.

T. Moeslund, A. Hilton, and V. Kruger, "A Survey of Advances in Vision based Human Motion Capture and Analysis," *Computer Vision and Image Understanding* 104, pp. 90-126, 2006.

T.F Xu and P. Zhao, "Interlaced Scan CCD Image Motion Deblur for Space Variante Motion Blurs," *Optik - International Journal for Light and Electron Optics*, vol. 122, no. 8, pp. 719-723, 2011.

The Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences (CASIA). (2001) Center for biometrics and security research. [Online]. <http://www.cbsr.ia.ac.cn/english/Gait%20Databases.asp>

University of Central Florida. (2012, Septiembre) Center for Research in Computer Vision. [Online].

<http://crcv.ucf.edu/data/UCF50.php>

V. Caglioti and A. Giusti, "Recovering ball motion from a single motion-blurred image.," *Computer vision and image understanding* 113, pp. 590-597, 2009.

V. Ganapathi, C. Plagemann, D. Koller, and S. Thrun, "Real Time Motion Capture using a Single Time of Flight Camera," in *Proceedings Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2010, pp. 1-8.

V. Genon-Catalot and C. Laredo, "Leroux Method for General Hidden Markov Models," *Stochastics Processes and Their Applications* 116, pp. 222-243, 2006.

V. Mamania, "Markless Motion Capture from Monocular Videos," in *Memorias In Indian Conference on Computer*, 2004, pp. 1-7.

W. Hao, M He, H. Ge, C.J Wang, and Q.W. Gao, "Retinex like method for image enhancement in poor visibility conditions. Advanced in control engineering and information science.," *Journal Procedia engineering* 15, pp. 2798-2803, 2011.

W. Lin and J. Kuo C-C, "Perceptual visual quality metrics: A survey," *Journal of Visual Communication and Image Representation - Elsevier* 22, pp. 297-312, 2011.

W. Wong and J. Chin L, "Realistic Distrubance Modelling using Hidden Marlov Models: Applications in Model Based Process Control," *Journal of Process Control* 19, pp. 1438-1450, 2009.

W. Yu and G. Sheble, "Modeling Electricity Markets with Hidden Markov Model.," *Electric Power Systems Research* 76, pp. 445-451, 2006.

X. Han, "gait recognition considering walking direction," *IEEE Conference on Cybernetics and Intelligent Systems*, pp. pp. 1-5, 2006.

Y. Li, "Hidden Markov Models with States Depending on Observations," *Pattern Recognition Letters* 26, pp. 977-984, 2005.

Y. Wang, "Survey of Objective Video Quality Measurements," EMC Corporation Hopkinton, Technical report 2006.

Ye. Lu and Z.N. Li, "Automatic Object Extraction and Reconstruction in Active Video," *Pattern Recognition* 41, pp. 1159-1172, 2008.

Z Al-ameen, G Sulong, and G. Johar, "Employing a suitable contrast enhancement technique as a pre-restoration adjustment phase for computed tomography medical images," *International Journal of Bio-science and Bio Technology. Vol 5, no 1, February 20*, 2013.

Z. Xue, D. Ming, W. Song, B. Wan, and S. Jin, "Infrared Gait Recognition based on Wavelet Transform and Support Vector Machines," *Pattern Recognition* 43, pp. 2904-2910, 2010.

Z.U Rahman, G. Woodell, and D.J. Jobson, "A retinex processing for automatic image enhancement," *Journal of electronic imaging*, vol. 13, no. 1, pp. 100-110, January 2004.

Z.U. Rahman, D.j. Jobson, and G. Woodell, "Investigating the relationship between image enhancement and image compression in the context of the multi-scale retinex," *J Vis commun Image R* 22, pp. 237-250, 2011.

Zia-ur Rahman, Gleen Woodell, and Daniel J. Jobson, "A retinex processing for automatic image enhancement," *Journal of electronic imaging*, vol. 13, no. 1, pp. 100-110, January 2004.

Zia-ur Rahman, Daniel J. Jobson, and Gleen Woodell, "Investigating the relationship between image enhancement and image compression in the context of the multi-scale retinex," *J Vis commun Image R* 22, pp. 237-250, 2011.

Zohair Al-ameen, Ghazali Sulong, and Gapar. Johar, "Employing a suitable contrast enhancement technique as a pre-restoration adjustment phase for computed tomography medical images," *International Journal of Bio-science and Bio Technology*. Vol 5, no 1, February 20, 2013.

ANEXOS

ANEXO 1 BASES DE DATOS EMPLEADAS

Dataset CMU MoBo

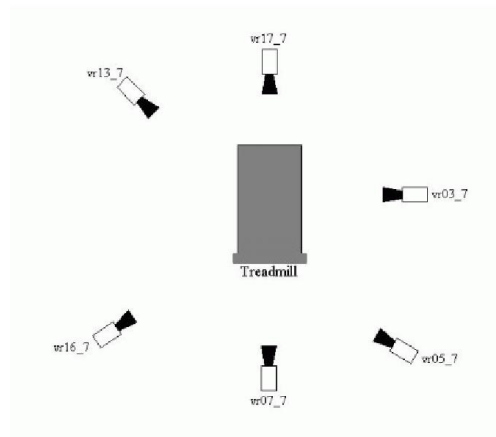
Compilada en marzo 2001. Contiene información visual de 25 individuos desplazándose sobre una caminadora en el laboratorio CMU 3D. Cada sujeto realiza cuatro patrones de movimiento diferentes: caminata lenta, caminata rápida, caminata en plano inclinado y caminata con un balón. La información visual se obtuvo empleando seis cámaras a color de alta resolución distribuidas alrededor de la caminadora, capturando aproximadamente 8000 imágenes por sujeto. Las secuencias tienen una duración de 11 segundos, registradas a tasa de frame full (30 frames/segundo)

Localización de la marcha	Caminadora ubicada en espacios interiores
Sujetos analizados	25
Vistas	6
Sincronizados	Si
Estilos de marcha	4
Longitud de la secuencia (s)	11
Tamaño en pixeles	500
Cuadros por segundo (fps)	30
Tamaño sin comprimir (GB)	175
Tamaño comprimido (GB)	9.9
Tamaño de la imagen (ancho*alto)	486*640

Las cámaras empleadas son de alta calidad (3 CCD, scan progresivo) Sony DXC 9000's. La imagen resultante es de 640x480 con resolución a color de 24-bit.

La ubicación de las cámaras respecto a la caminadora se presenta en la figura 38

Figura 38. Ubicación de las cámaras



Fuente [27]

Características de los movimientos

- Caminata lenta

La velocidad de la caminadora se ajusta a fin de obtener una velocidad de caminata confortable para los sujetos

Velocidad promedio: 2.06 mph

- Caminata rápida

La consigna fue desarrollarla tan rápido como fuera posible siendo confortable.

Velocidad promedio: 2.82 mph

- Caminata en plano inclinado

El plano de la caminadora se ubica en 15° de inclinación, la velocidad se ajusta para hacerla confortable para los sujetos en análisis

Velocidad promedio: 1.96 mph

- Caminata con balón

Como último ejercicio, se solicita a la persona tomar un balón mientras camina, a fin de inmovilizar los brazos mientras realiza el movimiento a una velocidad confortable.

Velocidad promedio: 2.04 mph

La sesión grabada promedio toma aproximadamente 15 minutos por persona. Cada secuencia tiene una longitud de 340 frames, grabados a una velocidad de 30 frames por segundo.

Al inicio de cada sesión se captura la imagen correspondiente al fondo a fin de facilitar la extracción del fondo. La base de datos con los registros de los 25 sujetos ocupa aproximadamente 175 GB (sin comprimir).

Organización de la base de datos

La información se almacena en dos formatos: formato ppm sin comprimir (175 GB) y formato JPG comprimido (9.9 GB). También se registran las siluetas extraídas empleando una substracción del fondo y thresholding, lo cual hace que las siluetas extraídas, presenten huecos y pixeles erróneos.

Estructura del archivo

La base de datos CMU MoBo está organizada como una colección de imágenes de cada sujeto. Siendo identificados por un único ID de 5-dígitos.

Para cada sujeto las imágenes se ubican en un subdirectorio de acuerdo a las actividades “ball”, “fastWalk”, “incline” y “slowWalk”. Las imágenes del fondo se mantienen en un subdirectorio independiente.

En los respectivos subdirectorios las imágenes están organizadas adicionalmente de acuerdo a la cámara con la cual fueron grabadas, las labels de las cámaras son vr03_7, vr05_7, vr07_7, vr13_7, vr16_7 and vr17_7 como se observa en la figura 38.

Ralph Gross and Jianbo Shi. Tech. report CMU-RI-TR-01-18, Robotics Institute, Carnegie Mellon University, June, 2001. Información disponible en:

http://www.ri.cmu.edu/pub_files/pub3/gross_ralph_2001_3/gross_ralph_2001_3.pdf.

La base de datos fue desmontada de su ubicación, para su consecución es preciso contactar a los autores, exponerles la dimensión y alcances del proyecto en el cual se emplearan, en caso de considerarlo pertinente es suministrado un enlace de descarga.

Dataset KTH

La base de datos contiene seis tipos de acción humana (caminata, trote, carrera, boxeo, batido de manos y aplauso) realizadas por 25 sujetos en cuatro escenarios diferentes: exteriores $s1$, exteriores con variación de escala $s2$, exteriores con diferentes ropas $s3$ y espacios interiores $s4$.

Figura 39. Ilustración del contenido de la base de datos



Fuente <http://www.nada.kth.se/cvap/actions/>

La base de datos cuenta con 2391 secuencias. Siendo adquiridas respecto a un fondo homogéneo con una cámara estática a una tasa de 25 frames por segundo. Las secuencias fueron submuestreadas a una resolución especial de 160×120 píxeles y tienen en promedio una duración de cuatro (4) segundos.

Las secuencias se almacenan en formato AVI y están disponibles on-line (versión comprimida con DIVX). La versión sin compresión es descargable bajo solicitud. Existen $25 \times 6 \times 4 = 600$ videos para cada combinación de los 25 sujetos, 6 acciones y 4 escenarios. Cada archivo contiene cuatro

subsecuencias usadas como una secuencia en nuestro. La división de cada archivo en sus secuencias en términos del *start_frame* y el *end_frame* es publicada como un archivo de texto adicional.

Información y base de datos disponible en:

<http://www.nada.kth.se/cvap/actions/>

Dataset CASIA

El Instituto de automática, de la academia China de ciencias (CASIA) recopiló la base de datos CASIA, a fin de promover la investigación, como fuente de información para la comunidad interesada en el reconocimiento de la marcha.

El Dataset está compuesto por tres bases denominadas: **Dataset A**, **Dataset B** (información desde múltiples vistas) y **Dataset C** (información en infrarrojo).

Dataset A (nombrada inicialmente NLPR) creada en Dic. 10, 2001, incluyendo 20 personas. Cada persona tiene 12 secuencias de imágenes, 4 secuencias para cada una de las tres direcciones, ejemplo: paralelo, 45 grados y 90 grados respecto al plano de la imagen. La longitud de cada secuencia no es idéntica debido a las variaciones en la velocidad de la persona, pero se puede ubicar entre 37 y 127.

El tamaño de la Dataset A es de aproximadamente 2.2GB e incluye 19139 imágenes.

El formato del nombre en la base de datos se identifica a través de nomenclatura, los nombres en la base de datos A se notan como 'xxx-mm_n-ttt.png', siendo

xxx: id de la persona, mm: dirección del movimiento, n: el numero de la secuencia, ttt: numero del frame en la secuencia

Figura 40. Muestra del Dataset A



Fuente CASIA

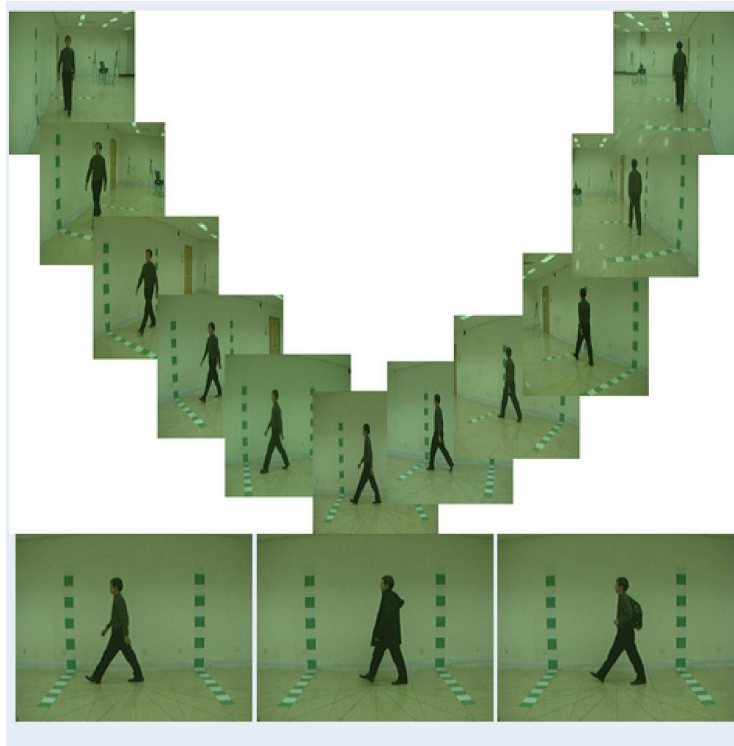
Dataset B la database multivista más grande, creada en enero 2005. Contiene información de 124 sujetos, realizándose 11 capturas. Tres variaciones deben señalarse correspondiendo estas al ángulo de la captura, ropa y carga de objetos, considerándose independientemente.

Adicionalmente a los archivos de video, el repositorio contiene las siluetas extraídas.

El formato de nomenclatura del archivo de video en el Dataset B es 'xxx-mm-nn-ttt.avi', donde

xxx: id del sujeto, varía entre 001 y 124, mm: tipo de caminata, puede ser 'nm' (normal), 'cl' (con abrigo) o 'bg' (con una maleta), nn: numero de la secuencia, ttt: ángulo de la vista, puede ser '000', '018',..., '180'.

Figura 41. Muestra database B



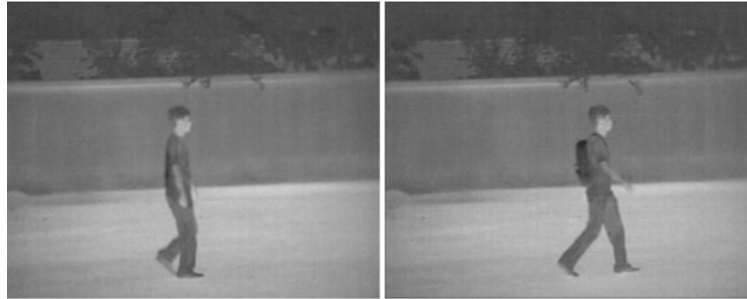
Fuente CASIA

Dataset C adquirida con una cámara infrarroja en agosto 2005. Considera 153 sujetos y contempla cuatro condiciones del movimiento: caminata normal, caminata lenta, caminata rápida, y caminata normal con una maleta.

Los videos se adquieren en la noche. La nomenclatura del Dataset C es '01xxxmmnn.avi', donde

xxx: id del sujeto, varía entre 001 y 153, mm: estatus del movimiento, puede ser 'fn' (normal), 'fq' (caminata rápida), 'fs' (caminata lenta) o 'fb' (con una maleta), nn: numero secuencia.

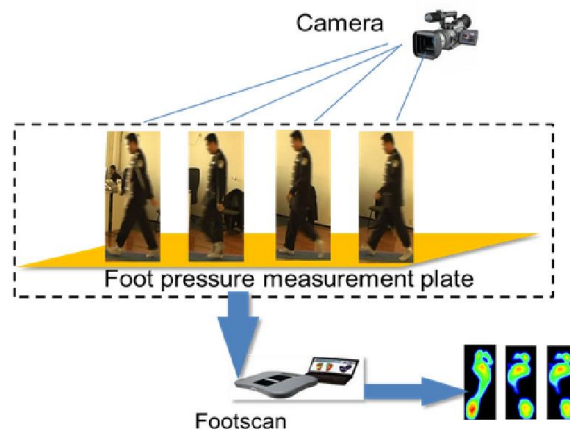
Figura 42. Muestra Dataset C



Fuente CASIA

Dataset D se adquiere usando sincrónicamente una cámara y el Rscan Footscan en Jul.-Aug. 2009. Contiene 88 sujetos y considera escenas de videos de vigilancia y una distribución en edades amplia. El Dataset puede considerarse una iniciativa para aprovechar la relación entre la biometría comportamental y sus manifestaciones correspondientes. La información se adquiere en interiores, la población empleada en el estudio es de origen chino.

Figura 43. Muestra Database D



Fuente CASIA

Información y bases de datos disponibles en

<http://www.cbsr.ia.ac.cn/english/Gait%20Databases.asp>