



## Intelligent System for Intelligent System for Automatic Determination of Structural Pathologies of the Human Foot

---

Gerardo Chacón, Renson Vera, Said Pérez,  
Moisés Enrique Martínez Soto, Carlos Rodríguez Monroy and  
Anne Morris-Díaz

EasyChair preprints are intended for rapid  
dissemination of research results and are  
integrated with the rest of EasyChair.

May 11, 2019

# SISTEMA INTELIGENTE PARA DETERMINACIÓN AUTOMÁTICA DE PATOLOGÍAS ESTRUCTURALES DEL PIE HUMANO.

## Resumen

El pie humano es una estructura perfectamente adaptada para cumplir con las múltiples exigencias de apoyo y locomoción del cuerpo humano, así como para la realización de los movimientos más complejos, por eso se hace pertinente una evaluación de la condición de los parámetros morfológicos de la huella plantar. En esta publicación se propone un sistema inteligente como apoyo al diagnóstico clínico de enfermedades estructurales que afecten el pie humano mediante un análisis geométrico utilizando técnicas de visión artificial. Como método de evaluación del sistema se utilizó el porcentaje de aciertos en una población de 110 individuos sanos y enfermos entre 25 y 45 años, comparándolo con el diagnóstico del especialista. Esta investigación facilita el diagnóstico en un ámbito local y contribuye en la solución patológica a personas de bajos recursos en centros de salud locales, permitiendo obtener un preámbulo en el deterioro de la salud en el caso del adulto mayor como un enfoque que se puede replicar en la población infantil maximizando la población beneficiada.

**Palabras clave:** Morfología, patología, sistema inteligente, visión artificial.

## I. INTRODUCCIÓN

En el mundo actual la sinergia entre diversas ramas del conocimiento permite desarrollar sistemas óptimos para fomentar el mejoramiento de la calidad de vida de la sociedad [1]. Puntualmente cuando se introduce la aplicación de sistemas automáticos de apoyo para el diagnóstico de enfermedades se generan un impacto significativo. Para dar cabida a la propuesta se vincula el uso de sistemas de reconocimientos de patrones y de visión artificial basados en su aplicabilidad y funcionalidad conjunta que brindan resultados importantes para el avance científico y tecnológico [2]. Un adecuado diagnóstico automático en las patologías del pie a partir del análisis de la huella plantar podría ser una parte importante en la medicina podológica, ya que algunas veces se pueden identificar enfermedades pero no con una gran probabilidad. Los sistemas inteligentes se construyeron como pequeños programas, ideados para la ayuda de tareas específicas e integradas en sistemas mayores, esto da inicio a los llamados Módulos Lógicos Médicos, basado en la llamada sintaxis de ARDEN, creada por acuerdo entre múltiples grupos de investigación en Europa y EE.UU [3]. Este lenguaje permite especificar pequeños sistemas de ayuda a la toma de decisión, que pueden facilitar la integración con sistemas de información hospitalarios. La visión artificial es

una rama de la inteligencia artificial que comprende el estudio y creación de sistemas computarizados que manifiestan cierta forma de inteligencia [4], donde los campos de la informática aplican el reconocimiento

automático de patrones a través de la obtención, procesamiento y análisis de cualquier tipo de información en especial obtenida a través de imágenes digitales. Actualmente la prevención de la aparición de sintomatologías en el pie humano es un hábito de salud importante, un análisis sobre el cuidado de sus pies por parte de un médico especialista orienta al paciente sobre la responsabilidad individual que se debe tener y de los riesgos que se corren a largo plazo por no tratar a tiempo una patología, el cual trae una serie de impedimentos que no favorecen una condición de vida apropiada [5].

En un ámbito local donde la necesidad de un tratamiento especializado se han convertido en un sistema de difícil acceso debido a su costo y tiempo de espera por parte de los profesionales en el tema, se crea la necesidad de usar sistemas versátiles, fáciles de usar para personal médico que no tiene una formación ingenieril previa, con el fin de subsanar una necesidad acatada por el paciente para un diagnóstico y tratamiento adecuado de tal forma mejorar su salud y por ende una calidad de vida.

Al considerar lo anteriormente planteado surge la presente investigación cuyo objetivo es determinar el diagnóstico de enfermedades estructurales que afecten el pie humano mediante un sistema inteligente como apoyo clínico. La metodología para el desarrollo se dividió en dos fases. La primera llamada sistema de visión artificial y se centra en la selección de dispositivos de captura de imágenes, la plataforma de desarrollo y técnicas de pre-procesado. En la segunda etapa se desarrolla el sistema, se segmenta las imágenes y se analizan las imágenes. El desarrollo de este dispositivo servirá de apoyo a los profesionales de la salud para el diagnóstico y tratamiento de estas enfermedades estructurales del pie humano.

## II. ANTECEDENTES

Un diagnóstico de patologías adecuado en la rama de la medicina permite avanzar en el tratamiento de pacientes, por tal razón es apropiado que la tecnología vanguardista

contribuya en el desarrollo de la medicina. Se hace específico contar con un sistema versátil que permita hacer diagnósticos claros o aportar nociones al especialista del área de la salud que contribuyan a la toma de decisiones finales al momento de establecer un procedimiento, es posible concebir un dispositivo que contribuya al mejoramiento social y funciona como un avance en el desarrollo. En el estudio realizado en [6], proponen un sistema de visión artificial Multiespectral para análisis de la huella plantar, en él se describen dos nuevas metodologías que a partir de imágenes y utilizando técnicas de visión por computador, permiten obtener de forma automática los parámetros térmicos y Morfológicos de la huella plantar.

La figura 1 visualiza la propuesta metodológica del proceso a seguir en esta investigación, donde se emplean mecanismos de implementación de una herramienta de software en el cual se codificó la captación, la segmentación, la clasificación y el reconocimiento de imágenes patológicas del pie humano.

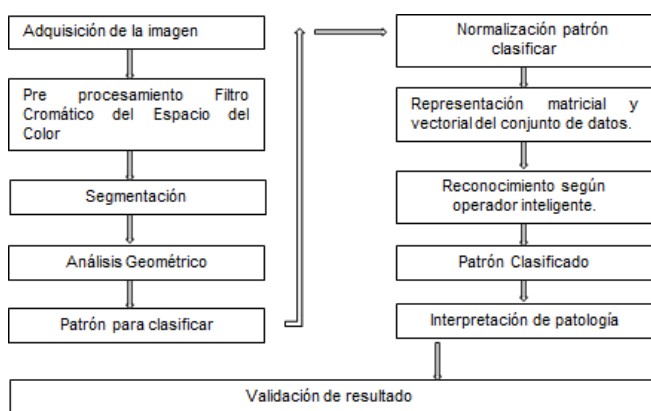


Figura 1. Estructura metodológica del sistema automático de diagnóstico. Fuente autores.

El desarrollo del sistema inteligente contempla dos fases, un sistema de visión artificial que permite extraer los parámetros morfológicos de la huella plantar a través de una distribución geométrica basada en métodos de puntos y regiones características de la imagen propios de estudios realizados en la medicina deportiva y podológica de pacientes a través de los años y la segunda la preparación de un sistema inteligente basado en máquinas de aprendizaje para la clasificación de patrones.

### III. PRINCIPIOS DE OPERACIÓN

#### Adquisición de la imagen.

Para la adquisición de la imagen del pie se utiliza un podoscopio basado en una cámara digital, consta de una estructura metálica robusta con altura ajustable y vidrio transparente en su parte superior, el cual tiene la finalidad de capturar imágenes digitales de la huella plantar a reconocer. Para la iluminación adecuada, en sus extremos de la parte interna donde se ubica el vidrio posee una tira de LED fluorescente que concentra su luz a través del espesor del vidrio, en esto se crea un efecto óptico cada vez que se presiona sobre la superficie, dependiendo de la presión que se ejerza sobre dicha superficie varía este efecto lo que permite condiciones adecuadas para la adquisición de la imagen. En la figura 3 se muestra la estructura del dispositivo.

#### Pre-procesado.

El tejido óseo es el elemento principal del esqueleto. Sirve de soporte a las partes blandas, protege órganos vitales y constituye un sistema de palancas que amplifica las fuerzas generadas durante la contracción muscular [7].

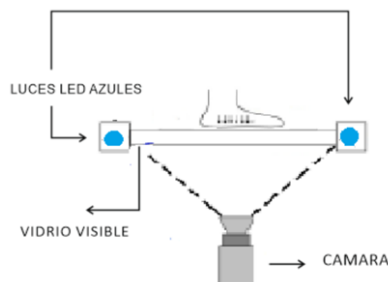


Figura 2 estructura del dispositivo. Autores.

Para llevar a cabo la etapa de pre procesado, lo primero que se realizó fue la división o separación del tejido óseo del pie izquierdo del pie derecho. La imagen que se obtiene se encuentra en un espacio de color RGB [8], pero para poder obtener mejores resultados para la etapa de segmentación, se analiza previamente las imágenes en diferentes espacios de color los cuales fueron: HSV, YCbCr y LAB como se muestra en la figura 3. El espacio de color YCbCr es una codificación del espacio de color RGB, que distribuye la proporción de las componentes roja, verde y azul en dos componentes cromáticas que guardan la información del color denominadas crominancia de diferencia roja y azul, a su vez

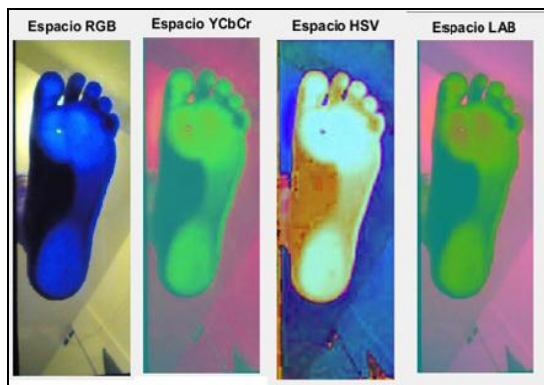


Figura 3. Espacio de Color [8].

una tercera componente  $Y$  guarda la información de la proporción de luz según los colores que constituyen la imagen llamada (luma). El espacio de color HSV define sus planos como tono (H), saturación (S) y valor (V). Donde el tono (H) se refiere a la frecuencia dominante de color dentro del espectro visible, es decir el color de la imagen. La saturación (S) se refiere a la cantidad del color o pureza de este, mostrando la degradación del color blanco, en otras palabras si es claro u oscuro. El Valor (V) es la intensidad del color si este se encuentra de forma brillante, mate o entre el rango de estos. El espacio de color LAB es un modelo de color que destaca por la corrección eficiente del color, se basa en aislar la iluminación en los canales "A" y "B" y poder medir la diferencia existente entre dos colores, que es proporcional a la distancia geométrica en el espacio de color, donde la componente A son las coordenadas de rojo-verde y la B son de amarillo-azul [8].

## Segmentación

La segmentación [9], nos ayuda a simplificar la imagen y por ende la podemos analizar con mayor facilidad, ya que al segmentarla se binariza la imagen dejando una matriz de unos y ceros, esto se hace con cada uno de los componentes de los espacios de color nombrados anteriormente.

## Análisis geométrico.

Con la imagen ya segmentada y en forma binaria binarizada [10], se inicia con el análisis geométrico del pie, el cual se realizó por medio de los parámetros de: ángulo de Clarke [11] y el índice de Hernández-Corvo [12], que son los que nos ayudaran a determinar la patología del pie. Para poder hallar estos dos parámetros nombrados anteriormente se necesita encontrar 7 puntos en el pie como se muestra en la figura 4. Para lograr estos puntos primero se tuvo que encontrar el contorno del pie.

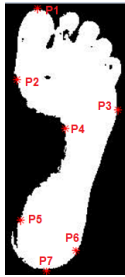


Figura 4. Estructura del pie con la distribución de puntos, [12].

Teniendo los 7 puntos formamos las líneas del ángulo de Clarke y las del índice de Hernández-Corvo, donde para determinar el ángulo de Clarke se utilizan los puntos P2, P4 y P5, a través de (1) hallamos la distancia de 2 a 4 el cual  $x_P$  y  $y_P$  son las coordenadas de "x" y "y" del punto respectivo y (2) es la distancia de P2 a P5, y (3) es de P4 y P5, con esto se pudo determinar el Angulo de Clarke (AC) (5) como se muestra en la figura 5.

$$d_{24} = \sqrt{(x_{P2} - x_{P4})^2 + (y_{P2} - y_{P4})^2} \quad (1)$$

$$d_{25} = \sqrt{(x_{P2} - x_{P5})^2 + (y_{P2} - y_{P5})^2} \quad (*2) \quad (2)$$

$$d_{45} = \sqrt{(x_{P4} - x_{P5})^2 + (y_{P4} - y_{P5})^2} \quad (*2) \quad (3)$$

$$AC = \cos^{-1} \left( \frac{-P_{45}^2 + P_{25}^2 + P_{24}^2}{2 * P_{24} + P_{25}} \right) \quad (4)$$

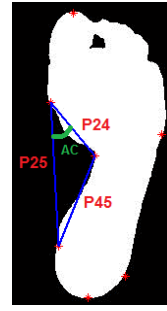


Figura 5 Angulo de Clarke [12]

Par determinar el índice Hernández-Corvo trazamos una línea de P2 a P5, con esto se determina la distancia del antepie que es entre P3 hasta L25, la siguiente es la distancia del medio pie, con estas se calcula el índice H-C (%) (5) como se muestra en figura 6.

$$HC(\%) = \frac{D_{ap} - D_{mp}}{D_{ap}} * 100\% \quad (5)$$

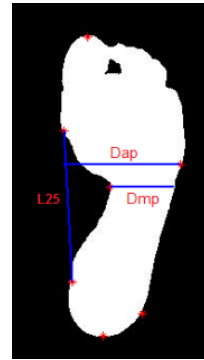


Figura 6. Índice de Hernández – Corvo [12]

Al finalizar el proceso de análisis geométrico se genera el patrón que servirá de entrada al sistema inteligente en los módulos de normalización y representación vectorial.

## Sistema de Reconocimiento

El desarrollo de este sistema se basa en un clasificador que emplea técnicas de sistemas de aprendizaje artificial, el cual tiene como patrón de entrada imágenes que no contemplan una dimensión proporcional, para este caso es conveniente que el conjunto de datos se maneje de forma eficiente, al considerar un pre procesamiento a los datos originales. El conjunto de datos obtenidos para la clasificación proporcionan unos patrones cuya dimensión a nivel matricial varía conforme la edad, estatura, peso y otros factores a tener en cuenta del paciente a diagnosticar, dando un manejo de datos variado para el reconocimiento, [13].

## Normalización

Este procedimiento busca reducir la dimensión del conjunto de datos obtenidos de la imagen, con la finalidad de acelerar el proceso de entrenamiento de la técnica de aprendizaje artificial al reducir la influencia de valores muy grandes o muy pequeños en las entradas. De esta manera se conserva la estructura inherente en los datos y se acelera el proceso de entrenamiento, al evitar una alta complejidad

computacional para la toma de decisiones, este proceso también acarrea una disminución en el tiempo de procesamiento favoreciendo el desarrollo del sistema de reconocimiento.

El uso de datos de las imágenes de la huella plantar se asocian a dimensiones preestablecidas, la dimensión de la imagen generada por el sistema de visión es de (520x320) como se puede apreciar en la Figura 6 , generando 166400 datos, el cual sería un vector de entrada muy grande para procesarlo, se optó para este caso una dimensión de la imagen de (52X33) pixeles el cual entrega 1716 datos siendo acorde para las entradas del sistema , esta operación realizada no altera la información de valores significativos contenidos en la imagen a evaluar.

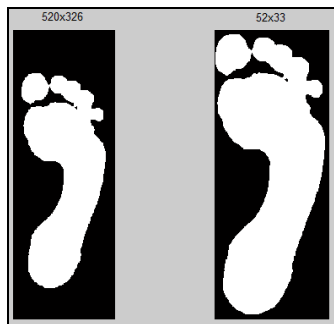


Figura 6. Normalización del patrón

### Máquinas de Soporte Vectorial

La teoría de máquinas de soporte vectorial ( MSV) es una técnica de clasificación supervisada en aprendizaje estadístico en el cual está basada la idea de minimización de riesgo estructural, en muchas aplicaciones de clasificación han mostrado tener gran desempeño siendo una herramienta poderosa para resolver estos problemas, actualmente hay muchas aplicaciones que utilizan las técnicas de las SVM como por ejemplo las de OCR (Optical Character Recognition) por la facilidad de las SVM de trabajar con imágenes como datos de entrada. El problema que plantea esta investigación es el reconocimiento del sistema como un problema que considera 2 clases que relacionan a las patologías estructurales del pie humano, [14]. El modelo MSV utilizado está formado por un modulo de captura de datos, la interfaz grafica de usuario, el modulo de entrenamiento y ajuste de parámetros quedando estos en  $gam = 10$  y  $sig^2 = 0.4$  y finalmente los módulos de simulación y graficación como se muestra en la figura 7.

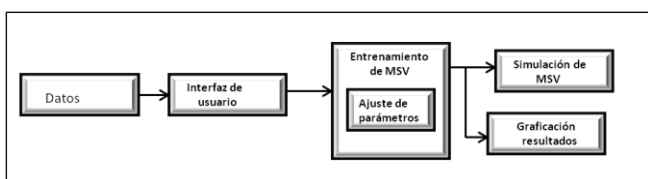


Figura 7. Modelo MSV . Autores.

### Base de conocimiento

El organismo responsable para realizar investigaciones científicas sobre Salud del pie es el Instituto Nacional de

Artritis y Enfermedades Musculo esqueléticas y de la Piel (NIAMS) [15], por sus siglas en inglés, que se establecio en 1986 y el colegio Americano de Cirujano del Pie y Tobillo (ACFAS),[16], fundado en 1942 los cuales establecen una serie de lesiones y enfermedades relacionadas al pie, de acuerdo a la sintomatología presentada. En esta investigación se toma como referencia a NIAMS y se enfoca en 2 enfermedades estructurales del pie, para el cual se dará aplicación al sistema para contar con un manejo de patrones considerado y al abordaje de un mundo de conocimiento que relaciona la informática con la medicina. Los modelos de patrón estáticos de la huella plantar los relacionamos con sintomatologías de la enfermedad pie cavo como se aprecia en la Figura 8 y la enfermedad de pie plano en la Figura 9.

### Resultados

El área de interés del sistema se basa en la huella plantar donde este espacio de color nos proporciona un adecuado filtrado de la región a operar. Como se muestra en la figura 10 donde se puede apreciar la huella plantar con claridad, lo que evidencia la invulnerabilidad del sistema frente a iluminaciones parasitas, como la emitida por lámparas, que se pueden presentar en ambientes hospitalarios o en consultorios médicos, pero el sistema si resalta que no puede operar bajo efectos directos de la iluminación del sol.



Figura 8. Patrón de patología Pie Cavo



Figura 9. Patrón de patología Pie Plano, [15]

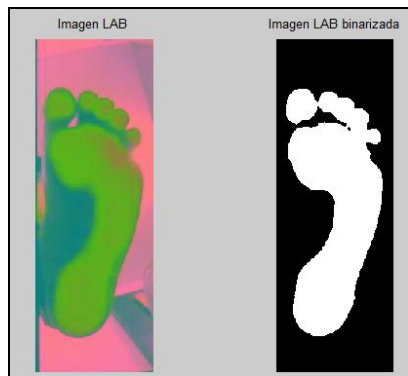


Figura 10. Imagen LAB Segmentada. Autores

Con la imagen segmentada y binarizada se procedió al análisis geométrico el cual lo conseguimos con el contorno, el centroide del pie. Después del análisis geométrico del pie se obtuvieron los parámetros para el diagnóstico, el experto utiliza varios en el cual se pueden encontrar el ángulo de Clarke, índice de Hernández-Corvo, índice de Staheli e índice del arco. Los expertos lo toman visualmente o en forma cualitativa para diagnosticar. En el sistema propuesto fundamentado en el ángulo de Clarke y Hernández-Corvo se obtuvo en la validación un 96.8 % de aciertos en 105 pruebas realizadas para las dos patologías estudiadas.

### Conclusiones.

Como resultado de la investigación se evidenció la necesidad de poseer información de personas expertas que profundicen la temática para así lograr establecer patrones de patologías estructurales del pie. Ya que con esta información brindada se obtuvo una mejor orientación hacia las dos enfermedades tratadas y la metodología de diagnóstico planteada esta investigación, como lo fueron la enfermedad de pie cavo y la enfermedad de pie plano.

Se observó que el espacio de color LAB es el más eficiente para llevar a cabo la segmentación y binarización de la imagen, ya que se encarga de aislar la iluminación en los canales "A" y "B", lo cual elimina alguna luz parasita que intente alterar la imagen, igualmente nos da la ventaja de que el canal B detecta de forma eficiente el color azul, ya que este se mueve en la coordenadas de color amarillo-azul, logrando detectar de forma eficaz la huella plantar.

Se evidenció que las técnicas de sistemas inteligentes asociadas al reconocimiento de imágenes poseen una gran capacidad de eficiencia, siempre y cuando se utilicen los parámetros adecuados. Se comprobó que si las imágenes que pertenecen al conjunto de datos de entrenamiento no tienen un adecuado tratamiento digital el porcentaje de error es alto, por lo que es imprescindible un pre procesamiento de datos para un mejor desempeño de la técnica a utilizar.

Por otra parte se consiguió asociar una máquina de soporte vectorial como una técnica de sistema inteligente adecuada para el reconocimiento de patologías estructurales del pie humano, el motivo de enfoque es que presenta una relación estrecha con el reconocimiento de patrones provenientes de imágenes, su tiempo de operación es mínimo, no exige una mayor capacidad de cómputo y la capacidad para minimizar el riesgo de generalización, hacen que sea una máquina de aprendizaje adecuada para el desempeño requerido.

### Referencias Bibliográficas.

- [1] Martínez Y . La calidad de vida y las relaciones sociales, claves de una sociedad saludable Revista electrónica de ciencia, tecnología, sociedad y cultura. issn 2174-6850.
- [2] Gómez A , Alfaro J , Plaza A , Sánchez F, Bellido I, Almenar A. Asociación baropodométrica del primer metatarsiano en el síndrome de stress tibial medial. European Journal of Podiatry / Revista Europea de Podología (ejPod). Vol. 4, Núm. 1 (2018) ISSN: 2445-1835. Disponible en: <http://revistas.udc.es/index.php/EJP/article/view/ejpod.2018.4.1.2053/pdf>
- [3] Hripcsak, George "Writing Arden Syntax medical logic modules". Computers in Biology and Medicine. 24 (5) (1994): 331-63. doi:10.1016/0010-4825(94)90002-7. PMID 7705066.
- [4] La Serna, N, Román Concha, Norberto U. Técnicas de Segmentación en Procesamiento Digital de Imágenes. Revista de investigación de Sistemas e Informática, [S.l.], v. 6, n. 2, p. 9 - 16, mayo 2014. ISSN 1816-3823. Disponible en: <http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/sistem/article/view/3299>.
- [5] Hernán Moya H Malformaciones congénitas del pie y pie plano. Revista chilena de pediatría versión impresa ISSN 0370-4106 Rev. chil. pediatr. v.71 n.3 Santiago mayo 2000. <http://dx.doi.org/10.4067/S0370-4106200000300011>
- [6] Ferrin Diego y Magdalena Ximena. Determinación de parámetros morfológicos de la huella plantar mediante procesamiento digital de imágenes. Revista S&T, 11(27) 9-26.
- [7] Ortega D, Gutiérrez A, Iznaga M, Gutiérrez T, De Beule M. Verheghe B. Segmentación de los huesos en imágenes TC empleando la umbralización global y adaptativa. Imagen Diagnóstica Volume 5, Issue 2, July-December 2014, Pages 68-73.
- [8] Koenderink J. Color for the Sciences. The MIT Press 2010 ISBN:0262014289 9780262014281.
- [9] Espinosa A, Araujo D, Deniz O, Salido J, Bueno G, Vallez N, Serrano I, Fernandez M, Sistema Automatico para la Medida de la Talla del Pie según Parametros del dispositivo Brannock Actas de las XXXVI Jornadas de Automática, 2 - 4 de septiembre de 2015. Bilbao ISBN 978-84-15914-12-9 2015 Comité Español de Automática de la IFAC (CEA-IFAC).
- [10] Báez J.Rojasa, Guerrero J, Conde A, Padilla V, Urcid G Segmentación de imágenes de color. Revista mexicana de física versión impresa ISSN 0035-001X Rev. mex. fis. vol.50 no.6 México dic. 2004.
- [11] Lara S, Lara A , Zagalaz M, Sánchez E, Martínez L. Análisis de los diferentes métodos de evaluación de la huella plantar. Nuevas tendencias en Educación Física, Deporte y Recreación 2011, n° 19, pp. 49-53 Copyright: 2011 Federación Española de Asociaciones de Docentes de Educación Física (FEADEF) ISSN: Edición Web: 1988-2041 (www.retos.org).
- [12] Díaz C, Torres A, Ramírez J, García L, Álvarez N. Descripción de un sistema para la medición de las presiones plantares por medio del procesamiento de imágenes. Revista EIA Print version ISSN 1794-1237 Rev.EIA.Esc.Ing.Antioq no.6 Envigado July/Dec. 2006.
- [13] Acero J. ESMAC (European Society of Movement for Children and Adults). 16th meeting of ESMAC, Atenas, Grecia. Sept.24-29/2007. Journal of Gait & Posture Vol16 Supplement 1, S67 y 68/2007.
- [14] Steve R. Gunn. Support Vector Machines for Classification and Regression. Faculty of Engineering and Applied Science Department of Electronics and Computer Science May 1998.
- [15] Instituto Nacional de Artritis y Enfermedades Musculoesqueléticas y de la Piel, NIAMS. <https://www.niams.nih.gov/es/>
- [16] Colegio Americano de Cirujanos del Pie y Tobillo, ACFAS <http://espanol.wright.com/meetings/american-college-foot-ankle-surgeons>