

Original Research / Artículo original - Tipo 1

Platform for processing medical ultrasound obstetric images enabled in the cloud

Kevin Jessid Figueroa Maza / kevin.figueroa@unipamplona.edu.co

Luis Enrique Mendoza / luis.mendoza@unipamplona.edu.co

Universidad de Pamplona, Colombia / Semillero de Investigación de Ingeniería Biomédica e Ingeniería en Telecomunicaciones - Grupo de Investigación de Ingeniería Biomédica. Ingeniería en Telecomunicaciones

ABSTRACT Fetal monitoring using noninvasive imaging has been developing over the last thirty years. These studies enable future problems to be detected and prevented. This paper presents a software that uses ultrasound imaging to detect the nuchal translucency area. This area is important for the detection of trisomy 21 or Down syndrome. For this, the software implements techniques of morphological operations and the Watershed transformation. Additionally, a web platform that allows remote access to the software was developed. Finally, the detection of the area is demonstrated using the Watershed transformation.

KEYWORDS Ultrasound, morphological, Watershed, nuchal translucency, trisomy.

Plataforma para el procesamiento de imágenes médicas de ultrasonido obstétrico habilitada en la nube

RESUMEN El seguimiento fetal no invasivo mediante imagenología ha venido creciendo en los últimos treinta años. Con estos estudios se detectan problemas futuros con el fin de prevenirlos. Este artículo presenta un software que mediante imágenes de ultrasonido permite detectar la zona de translucencia nuchal. Dicha zona es importante para la detección de trisomía 21 o síndrome de Down. Para ello el software contiene técnicas de operaciones morfológicas y la transformada *Watershed*. Adicionalmente, se desarrolló una plataforma web que permite el acceso al software de forma remota. Finalmente se demuestra la detección de la zona mediante la transformada *Watershed*.

PALABRAS CLAVE Morfología, *Watershed*, ultrasonido, translucencia nuchal, trisomía.

Plataforma para o processamento de imagens médicas de ultrassonografia obstétrica habilitada na nuvem

RESUMO A monitorização fetal não invasiva mediante imagiologia tem vindo crescendo nos últimos 30 anos. Estes estudos detectam problemas futuros, a fim de impedi-los. Este artigo apresenta um software que via imagens de ultrassom, permite detectar a área de translucência nuchal. Esta área é importante para a detecção do trissomia 21 ou síndrome de Down. Para isso, o software contém técnicas de operações morfológicas e a transformada *Watershed*. Além disso, desenvolveu-se uma plataforma web que permite o acesso ao software remotamente. Finalmente demonstra-se a detecção da zona mediante a transformada *Watershed*.

PALAVRAS-CHAVE Morfologia, *Watershed*, ultrassom, translucência nuchal, trissomia.

I. Introduction

This research is framed in making a cloud-enabled platform application using the latest open source technologies, combined with the mathematical processing of Matlab, that can store medical images and process them through the web. This is how the human visual system is conceived, in its biological sense, as the most important and powerful mechanism for image processing, because through it, it is possible to detect, segment and analyze, and store a large volume of information. That this process, with all its difficulties, might be automated by implementing computer algorithms, is one of the most interesting and innovative areas of research in engineering (González & Wood, 2006). Meanwhile, in the field of medicine, specifically in the area of radiological diagnostics, the experience of the physician still prevails, as chief observer to resolve and identify important patterns that define certain pathologies (Bonilla & Machado, 2010). Artificial or machine vision may be defined as any approach to the development of computer algorithms that simulate to a degree the biological vision system. Thus, image processing involves the alteration of the information obtained from an electronic scanner device which visually represents the inside of the human body. A particular example is fetal images of the first trimester, from which, by means of careful detail, the probability of an abnormality or genetic defect can be estimated by the chromosome marker of nuchal translucency, which, according to a statistical framework, can predict Down syndrome during this gestational age (Kurjak & Chervenak, 2008).

Currently, the ability to dispense with expensive hardware used for the storage and processing of information is promoting the progress of Information and Communications Technology [ICT]. As laptops, smartphones and tablets take over the market, users add to the demand due to the access they have to corporate networks anytime, anywhere and on any device compatible with the interface. Indeed, a platform that ventures into the need for storage and processing in the cloud and involves very low computational costs from a mobile device has been proposed, to facilitate access to other potential case studies in the future and possible extensions of this research line. The chromosomal marker for nuchal translucency was chosen because it has become the most interesting marker described in the last ten years, it is easy to observe, can be studied with any type of ultrasound

I. Introducción

Esta investigación se enmarca en realizar una plataforma de aplicación habilitada en la nube haciendo uso de tecnologías recientes de código abierto, en combinación con el procesamiento matemático de Matlab, que pueda almacenar las imágenes médicas y procesarlas a través de la web. Es así como se concibe el sistema de visión humana, en su sentido biológico, como el más importante y poderoso mecanismo para el procesamiento de imágenes, ya que por medio de él es posible detectar, segmentar y analizar, y a través de él, almacenar un gran volumen de información. El que este proceso, con todas sus dificultades, se intente automatizar mediante la implementación de algoritmos computacionales propende una de las áreas de investigación más interesantes y novedosas de la ingeniería (González & Wood, 2006). Por su parte, en el campo de la medicina, específicamente en el área de diagnósticos radiológicos, aún sigue imperando la experiencia del médico como observador principal para resolver e identificar los patrones importantes que definen determinadas patologías (Bonilla & Machado, 2010). La visión artificial, o de máquina, puede definirse como todo enfoque al desarrollo de algoritmos computacionales que simulan hasta cierto grado el sistema de visión biológico. Así, el procesamiento de imágenes consiste en la alteración de la información obtenida de algún dispositivo escáner electrónico que represente visualmente el interior del cuerpo humano. En particular se estudian las imágenes fetales del primer trimestre de gestación, en donde puede estimarse por medio de un cuidadoso detalle una probabilidad de anomalía o defecto genético por marcador cromosómico de translucencia nuchal, el cual, según un marco estadístico, puede predecir el síndrome de Down durante esta edad de gestación (Kurjak & Chervenak, 2008).

Actualmente la capacidad de prescindir del costoso hardware usado para el almacenamiento y procesamiento de la información promueve el progreso de la industria de las Tecnologías de la Información y la Comunicación [TIC]. A medida que las computadoras portátiles, teléfonos inteligentes y tabletas se apoderan del mercado, los usuarios se suman a la demanda por tener acceso a redes corporativas en cualquier momento y desde cualquier lugar y con cualquier dispositivo compatible con la interface. En efecto, se propuso una plataforma que incurriera en la necesidad de almacenamiento y procesamiento en la nube e implique costos computacionales muy bajos desde un dispositivo portátil, para facilitar el acceso a otros posibles casos de estudio en el futuro y posibles extensiones de esta línea de investigación. Se ha escogido el marcador cromosómico por translucencia nuchal porque éste se ha convertido en el marcador más interesante descrito en los últimos diez años, es fácil de observar, puede estudiarse con cualquier tipo de ecógrafo y su relación con anomalías cromosómicas y con el bienestar fetal ya está bien contrastado (Bonilla & Machado, 2010). El diseño de la plataforma está sostenido sobre algoritmos programados en Matlab y sobre combinaciones de Java J2EE, HTML5 y CSS3. Esto debido a que Java es un lenguaje universal y multiplataforma, lo que permite un buen desempeño, segmentándose en pequeños algoritmos de programación y

umentando la velocidad de ejecución; además, puede ejecutarse en servidores Linux, Windows u otros (Kroenke, 2003). HTML5 y CSS3 constituyen una nueva etapa de Internet en cuanto a arquitecturas de aplicaciones que se orientan a mejoras visuales y al manejo de formularios (De Luca, 2011). En cuanto a Matlab, éste se concibe como la herramienta computacional para el procesamiento de imágenes y señales por excelencia más potente y completa que existe en el mercado (Rodríguez, 2013). La metodología implementada optimiza el desempeño de la plataforma, ya que usa métodos DoPost y DoGet del protocolo HTTP, lo cual optimiza la aplicación, ya que proporcionan una respuesta del sistema muy rápida y eficiente (Groussard, 2010). Esta estructura computacional forma parte del conjunto de herramientas informáticas Open-Source de última generación. La plataforma está desarrollada con páginas web dinámicas en JSP, mediante módulos o clases Java que amplían las capacidades del servidor (Servlets), e implementa Ajax [Asynchronous JavaScript And XML], minimiza el costo computacional, ejecutando la aplicación en el cliente y manteniendo la comunicación con el servidor en un segundo plano. Primeramente, los datos a analizar se almacenan en el servidor, donde se encuentran los algoritmos y librerías de Java diseñadas en Matlab, que leen las variables, las procesan y entregan un resultado del proceso utilizando una arquitectura sencilla de cliente/servidor.

Para comprender el fenómeno físico implicado en el análisis de escáner por ultrasonido debe comprenderse primero el concepto mismo de ultrasonido. Se entiende por éste como una onda longitudinal mecánica de naturaleza elástica, cuya frecuencia es mayor a la frecuencia audible por el oído humano; la frecuencia audible por el hombre está aproximadamente entre un intervalo de 20 Hz a 20 KHz (Pérez, López, & Villar, 2013). Al ser una onda mecánica elástica, el ultrasonido puede literalmente atravesar la materia, ya que éste no puede existir en ausencia de ella. La energía que conlleva la rarefacción y compresión de la materia ondulante hace que el sonido se disipe o se absorba en las superficies con las que este tiene contacto. Normalmente el sonido adquiere distintas velocidades según la densidad del material en el que este se esté trasladando (Kane & Sternheim, 2007). El ultrasonido, al tener una oscilación de alta frecuencia, posee longitudes de onda muy corta, lo que permite la interpretación de su eco en forma de imágenes, y su uso en la medicina es muy relevante (Schmidt, 2007). La observación ecográfica de la translucencia nugal es el marcador más potente para la detección selectiva en la población general del síndrome de Down (Kurjak & Chervenak, 2008). La **FIGURA 1** muestra la zona econegativa señalada por una flecha. La zona de la translucencia es generada por el líquido acumulado entre el pliegue nugal y la piel. Existe una correlación directa entre el incremento de la medición de la translucencia nugal y el riesgo de síndrome de Down. Las causas posibles para el desarrollo de este espacio relleno de líquido de mayor tamaño son la insuficiencia cardíaca, secundaria a una malformación estructural y retraso en el desarrollo del sistema linfático (Kurjak & Chervenak, 2008).

scanner and its relation with chromosomal abnormalities and fetal welfare is well understood (Bonilla & Machado, 2010). The design of the platform is supported on algorithms implemented in Matlab and combinations of Java J2EE, HTML5 and CSS3. This is because Java is a universal language and multiplatform, which permits good performance, segmenting in small programming algorithms and increasing the execution speed; it can also run on Linux, Windows or other servers (Kroenke, 2003). HTML5 and CSS3 are a new stage of the Internet in terms of the architecture of applications that focus on visual enhancements and management of forms (De Luca, 2011). As concerns Matlab, it is conceived as the most powerful and comprehensive par excellence computational tool for image and signal processing that exists in the market (Rodríguez, 2013). The methodology implemented optimizes the performance of the platform because it uses DoPost and DoGet methods from HTTP protocol, which optimizes the application, as these provide a very fast and efficient system response (Groussard, 2010). This computational structure is part of the set of Open-Source software tools of the last generation. The platform has been developed with dynamic web pages in JSP, using modules or Java classes that extend the capabilities of the server (Servlets), and implements Ajax [Asynchronous JavaScript and XML], minimizes the computational cost, executing the application on the client and maintaining communication with the server in the background. First, the data to be analyzed is stored on the server, where there are algorithms and Java libraries designed in Matlab that read variables, process them and deliver the outcome of the process using a simple client/server architecture.

To understand the physical phenomena involved in the analysis of an ultrasound scanner, first the concept of ultrasound must be understood. This a mechanical longitudinal wave of elastic nature, whose frequency is higher than the frequencies audible by the human ear, which are approximately in the range of 20 Hz to 20 KHz (Pérez, López, & Villar, 2013). Being an elastic mechanical wave, ultrasound can literally pass through matter, because it cannot exist without it. The energy involved in the rarefaction and compression of undulating matter causes the sound to dissipate or absorb in the surfaces it makes contact with. Normally the sound acquires different speeds depending on the density of the material through which it is moving (Kane & Sternheim,

2007). Ultrasound, having a high frequency oscillation, possesses very short wavelengths, permitting the interpretation of its echo in the form of images, and its use in medicine is very relevant (Schmidt, 2007). Sonographic observation of nuchal translucency is the most powerful marker for selective detection in the general population of Down syndrome (Kurjak & Chervenak, 2008) score. **FIGURE 1** shows the echo-negative zone marked by an arrow. The area of translucency is generated by the liquid accumulated between the nuchal fold and the skin. There is a direct correlation between increase in the nuchal translucency measurement and the risk of Down syndrome. Possible causes for the development of this larger space filled with liquid are cardiac failure as a consequence of structural malformation and retarded development of the lymphatic system (Kurjak & Chervenak, 2008).

The computer system proposed for segmenting nuchal translucency must satisfy the requirements of scalability and permanence in control of the data, which means that it must always be connected to the Internet, fitting into the concept of *Application Enterprise Integration* (Freivald, 2015). In order to determine the nuchal translucency zone, the Watershed transformation is used, which implements the Fernand Meyer algorithm (MathWorks, 2014), whose analogy corresponds to Baucher's topographic method, used to identify depth zones by flooding reference zones (Navas & Jayadevan, 2014).

This is a powerful morphological tool because it allows the segmentation of zones whose structures are complex to analyze by conventional methods. Thus, segmentation by regions makes it easier to find the information sought on observation. These zones can be obtained by implementing the Watershed transformation (González & Ballarin, 2008). An image (matrix of discrete data) is considered as a two-dimensional membrane with intensity vectors that describe the changes that occur when the matrix is traversed pixel by pixel with a partial derivative (Wu, Merchant & Castleman, 2008). These gradients can also be interpreted as the typical topographic levels of a natural relief.

From the mathematical point of view, a pixel is understood as the position of a point in the plane, so an image can be represented as $I(x,y)$, where I is the image with $x \wedge y$, which are its coordinates. Thus the gradient or the calculation of its intensity levels is given by:



Figure 1. Chromosome marker of nuchal translucency (Moroder, 2010) / Figura 1. Marcador cromosómico por translucencia nuchal (Moroder, 2010)

El sistema computacional propuesto para segmentar la translucencia nuchal cumple con requisitos de escalabilidad y de permanencia en el control de los datos, esto es, que siempre debe estar conectado a Internet, encajando así en el concepto de *Application Enterprise Integration* (Freivald, 2015). Para determinar la zona de translucencia nuchal se utiliza la transformada Watershed, que implementa el algoritmo de Fernand Meyer (MathWorks, 2014), cuya analogía corresponde al método topográfico de Baucher, para identificar zonas de profundidad mediante la inundación de zonas de referencia (Navas & Jayadevan, 2014). Esta es una herramienta morfológica muy poderosa, ya que permite la segmentación de zonas cuyas estructuras son complejas de analizar mediante métodos convencionales. Así, la segmentación por regiones facilita encontrar la información que se busca en la observación. Dichas zonas pueden conseguirse implementando la transformada Watershed (González & Ballarin, 2008). Se considera una imagen (matriz de datos discretos) como una membrana bidimensional con vectores de intensidad, que describen los cambios ocurridos al recorrer la matriz píxel a píxel con una derivada parcial (Wu, Merchant & Castleman, 2008). Estos gradientes pueden ser interpretados también como los niveles topográficos típicos de un relieve natural. Desde el punto de vista matemático se entiende un píxel como la posición de un punto en el plano, por lo que puede representarse una imagen como $I(x,y)$, donde I es la imagen con $x \wedge y$, que son sus coordenadas. De esta forma el gradiente o el cálculo de sus niveles de intensidad está dado por:

$$\nabla I(x,y) = \left[\begin{array}{c} \frac{\partial I(x,y)}{\partial x} \\ \frac{\partial I(x,y)}{\partial y} \end{array} \right] \quad \text{Ecuación 1}$$

La Ecuación1 representa el vector gradiente de la función y determina el comportamiento relativo a las intensidades de luz de un píxel, o la variabilidad que existe en el cambio de regiones de una imagen. La ideología de la técnica (**FIGURA 2**) proviene de la interpretación de regiones en un estudio topológico

de relieves naturales usando el nivel de agua derramado desde distintas fuentes hasta que se produzca una línea divisoria entre regiones con diferencias de profundidad; al momento en que ambas alcancen el mismo nivel de agua puede segmentarse la topografía con regiones marcadas con cuencas de agua. En el tratamiento digital de imágenes esta segmentación se realiza a través de morfología matemática; el agua se interpreta como crecimientos de grano de un gradiente erosionado y dilatado.

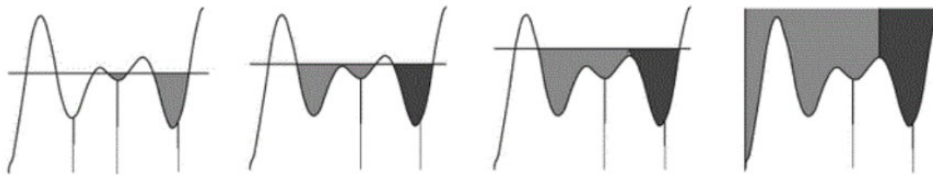


Figure 2. Representation of the Watershed technique (Wu et al., 2008) / Figura 2. Representación de la técnica Watershed (Wu et al., 2008)

La relación divisoria por las marcas de agua es análoga a la distancia euclidiana, denotada como

$$D_E = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$$

Ecuación 2

El algoritmo de Fernand Meyer consiste en definir la línea divisoria etiquetando cada mínimo calculado por derivada, luego se extrae de las regiones una variable con la mínima depresión, esto es:

$$I(x, y) = \min[I'(x, y)] \text{ tal que } I'(x, y) \in N$$

Ecuación 3

Donde N representa una región (Wu et al., 2008). El proceso se repite hasta que el conjunto N este vacío.

II. Metodología

Para el diseño de la plataforma fueron necesarias las siguientes herramientas:

- Apache Server Tomcat
- Java™ Runtime Environment (JRE), Java™ SE Development Kit [JDK]
- Entorno de desarrollo integrado para Java Open Source: NetBeansIDE
- Matlab y Matlab Compiler Runtime [MCR]
- JavaScript, Java Servlets, Java Server Pages [JSP]
- HTML, CSS, y XML

Donde Apache Tomcat (en adelante Tomcat) es un servidor web multiplataforma que existe para contener y desplegar Servlets; está desarrollado bajo el proyecto Jakarta de Apache Software Foundation bajo la licencia Apache 2.0 (Apache, 2015). Java™, en sus paquetes de desarrollador JRE y JDK, constituye la plataforma con todas las librerías necesarias para el funcionamiento de los programas en este lenguaje. El segundo (JDK) es el paquete de software utilizable para desarrollar aplicaciones web basadas en el lenguaje de programación Java (Oracle, 2015). NetBeans IDE es el entorno de desarrollo in-

$$\nabla I(x, y) = \begin{bmatrix} \frac{\partial I(x, y)}{\partial x} \\ \frac{\partial I(x, y)}{\partial y} \end{bmatrix}$$

Equation 1

EQUATION 1 represents the gradient vector of the function and determines the behavior relative to the

light intensities of a pixel, or the variability existing among the regions in an image. The concept of the technique (FIGURE 2) comes from the interpretation of regions in a topological study of natu-

ral reliefs using the level of water spilled from different sources until a boundary between regions with different depth occurs; once both reach the same level of water, the topography of regions marked with watersheds can be segmented. In digital image processing this segmentation is performed through mathematical morphology; water is interpreted as grain growth of an eroded and dilated gradient.

The divisory relation by the watermarks is analogous to the Euclidean distance, denoted as:

$$D_E = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$$

Equation 2

The Fernand Meyer algorithm consists in defining the divisory line by tagging each mínimo calculado by derivation, then a variable with the minimal depression is extracted from the regions, as follows:

$$I(x, y) = \min[I'(x, y)] \text{ such that } I'(x, y) \in N$$

Equation 3

where N represents a region (Wu et al., 2008). The process is repeated until the set N is empty.

II. Methodology

For the design of the platform the following tools were necessary:

- Apache Server Tomcat
- Java™ Runtime Environment (JRE), Java™ SE Development Kit [JDK]
- Integrated development environment for Java Open Source: NetBeansIDE

- Matlab and Matlab Compiler Runtime [MCR]
- JavaScript, Java Servlets, Java Server Pages [JSP]
- HTML, CSS, y XML

Apache Tomcat (hereafter Tomcat) is a multiplatform web server that exists to contain and deploy Servlets, and was developed under the Jakarta project of Apache Software Foundation under the license Apache 2.0 (Apache, 2015). Java™ in its developer packages JRE and JDK constitutes the platform with all the necessary libraries for the operation of the programs in this language. The second (JDK) is the usable software pack for developing web applications based on the programming language Java (Oracle, 2015). NetBeans IDE is the integrated development environment for coding, compiling, debugging, executing and deploying programs related with web development. With Matlab it is possible to implement complex mathematical models and design applications without much experience in programming. The main advantage of Matlab is its ability to export the code to other platforms using an enveloping code that protects the original algorithm from plagiarism or alterations. Through an enveloping code, the applications are expanded to other platforms, dispensing with the core of Matlab for its functioning, because the enveloped codes already contain the necessary libraries to do so. **FIGURE 3** describes the methodology implemented in the development of the project using a block diagram. The process can be divided into four blocks. The first one corresponds to the search for medical images certified by the international medical community referring to obstetric gynecology in the first trimester. The image must be in a position to localize the nuchal translucency zone, which means that the position of the fetus relative to the transducer should be of a suitable longitudinal cut for craniocaudal measurement. The images used in the project have an approximate size of 300 KB, and about 1000 pixels x 900 pixels. The images endorsed by the obstetric medical community were obtained from Mę Yêu Con (2015), Universitätsklinikum Bonn (2015), Down Syndrome... (2014), Homebrewed (2010), 18 week ultrasound...(n.d), and McGraw-Hill Access (Medicine, Emergency Medicine, Surgery and Pediatrics).

The second corresponds to the digital processing of the image, where techniques of reading, noise removal, filtering, frequency domain analysis, edge enhancement using laplacian filters and contour detection using partial derivatives are applied. There are plenty of methods to separate the ob-

tegrado para escribir, compilar, depurar, ejecutar y desplegar programas relacionados con el desarrollo web. Con Matlab se pueden implementar modelos matemáticos complejos y diseñar aplicaciones sin un alto grado de experiencia en programación. La principal ventaja de Matlab radica en su capacidad de exportar el código hacia otras plataformas mediante un código envolvente que protege el algoritmo original de plagios o alteraciones. Mediante un código envolvente se expanden las aplicaciones hacia otras plataformas, prescindiendo del núcleo principal de Matlab para su funcionamiento, ya que los códigos envueltos conllevan las librerías necesarias para su funcionamiento. La **FIGURA 3** describe mediante un diagrama de bloques la metodología implementada en el desarrollo del proyecto. El proceso puede separarse en cuatro grandes bloques. El primero corresponde a la búsqueda de imágenes médicas certificadas por la comunidad médica internacional, referentes a la ginecología obstétrica en el primer trimestre. La imagen debe estar en disposición para localizar la zona de translucencia nuchal, es decir, que la posición del feto relativa al transductor sea de un corte longitudinal apto para la medición cráneo-caudal. Las imágenes usadas en el proyecto tienen un tamaño aproximado de 300 KB, y alrededor de 1000 píxeles x 900 píxeles. Las imágenes avaladas por la comunidad médica obstétrica fueron consultadas en Mę Yêu Con (2015), Universitätsklinikum Bonn (2015), Down Syndrome... (2014), Homebrewed (2010), 18 week ultrasound...(s.f), y McGraw-Hill Access (Medicine, Emergency Medicine, Surgery and Pediatrics).

El segundo corresponde al procesamiento digital de la imagen, donde se aplican las técnicas de lectura, limpieza de ruido, filtrado, análisis en el dominio de la frecuencia, realce de bordes mediante filtros laplacianos y detección de contorno mediante derivadas parciales. Existen diversos métodos para separar los objetos en las imágenes que son importantes para la investigación. Uno muy común es la búsqueda de características mediante el valor de un umbral, en el que los algoritmos aplicados segmentan una imagen compuesta por píxeles desplegados en una matriz, y mediante el cálculo del histograma se encuentran estadísticamente valores que comparten características similares y se segmenta un área específica. La transformada Watershed es una técnica de segmentación basada en regiones que clasifica cada valor de la matriz según su proximidad, tratando la imagen como una zona topográfica con valles y picos, que análogamente en el contexto de análisis digital corresponde a la energía contenida en el gradiente morfológico (Vera & Arcila, 2009). Las imágenes obtenidas mediante ultrasonido son difíciles de tratar con el método convencional del umbral; por ello la transformada Watershed fue la técnica seleccionada.

El tercero se muestra el esquema de compilación del código y su representación como librerías Java. Por último, el cuarto bloque muestra cómo se almacena la aplicación en el servidor Apache Tomcat y se establece la conexión remota con un cliente a través de una IP pública. En la etapa de preprocesamiento se realiza la lec-

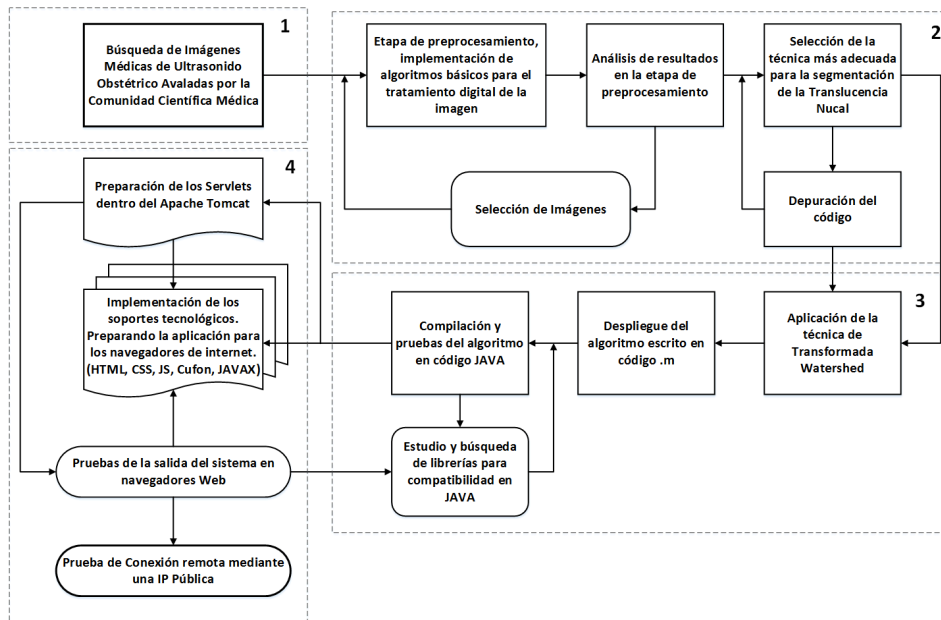


Figure 3. Methodology / Figura 3. Esquema metodológico

tura de la imagen y luego un indexado, para disminuir el costo computacional en el proceso. El especialista debe agregar mediante un clic los dos puntos de referencia en la zona econegativa que se quiere segmentar, como lo muestra la **FIGURA 4**, en la cual se identifica el lugar a segmentar. Los puntos de referencia serán retomados tras el cálculo de la transformada Watershed, para ubicar las regiones más relevantes de la translucencia nucal. Por otro lado, se implementa un filtro bidimensional mediante el algoritmo de sobel, para detectar bordes horizontales y los verticales (a través de una matriz transpuesta); además, se calcula la magnitud del gradiente morfológico mediante la ecuación de distancia euclidiana (**ECUACIÓN 2**). Esta parte del procesamiento genera los granos de región que serán utilizados para el cálculo y el etiquetado en la transformada Watershed. Para el hallazgo de contornos se aplica un cálculo de gradiente

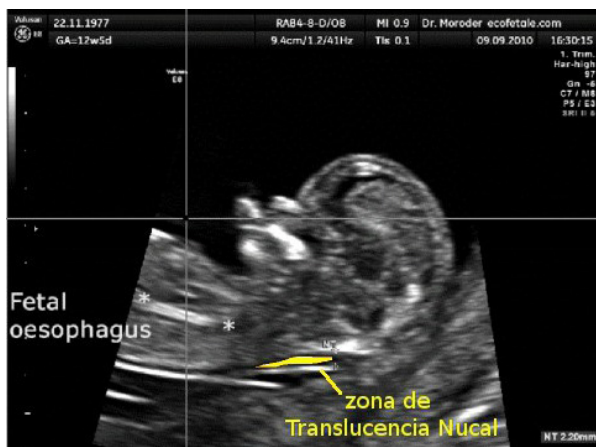


Figure 4. Points of reference of the echo-negative zone / Figura 4. Puntos de referencia de la zona econegativa

jects in the images important to the research. A very common method is the search for characteristics using the value of a threshold, where the algorithms applied segment an image composed of pixels deployed on a matrix, and using the calculation of the histogram, values that share similar characteristics are statistically found and a specific area is segmented. The Watershed transformation is a region-based segmentation technique that classifies each value of the matrix according to its proximity, handling the image as a

topographic zone with valleys and peaks that, in the context of digital analysis, correspond to the energy contained in the morphological gradient (Vera & Arcila, 2009). The images obtained through ultrasound are difficult to process with the conventional threshold method; that is the reason why Watershed transformation was the technique selected.

The third shows the compilation scheme of the code and its representation as Java libraries. Finally, the fourth block shows how the application is stored in the Apache Tomcat server and the remote connection is established with a client through a public IP. In the pre-processing stage, the image is read and an indexation is done, with the objective of lowering the computational cost of the process. The specialist must add by a click two points of reference in the echo-negative zone to be segmented, as **FIGURE 4** shows, to identify the area to be segmented. The points of reference will be taken into account again after the calculation of the Watershed transformation, to locate the most relevant regions of nuchal translucency. On the other hand, a bidimensional filter is implemented using the Sobel algorithm, for detecting horizontal and vertical edges (through a transposed matrix); in addition, the magnitude of the morphological gradient is calculated using the Euclidean distance equation (**EQUATION 2**). This part of the processing generates the grains of the region that will be used for calculation and tagging in the Watershed transformation. To find the contours, a calculation of the binary gradient is applied over the

image. In this way, considering the image as a bidimensional array of discrete data, the energy at each point or pixel is determined with a partial derivative, resulting in a dilated contour as shown in **FIGURE 5**. On the left, the indexed image is shown and the circles indicate the nuchal translucency; also, the result of the magnitude of the gradient and contours calculation is shown.

From the magnitude of the gradient it is possible to contour sharply the echo-negative region of nuchal translucency. The transposed matrix is calculated and the vertical and horizontal bidimensional filters are found, respectively, in order to obtain the magnitude of the gradient shown on the right side of Figure 5. The morphological condition of the contour is altered by a structural element that dilates the image. Applying tools of opening and closing by reconstruction, the image is subjected to an erosion process; this is understood as a subtraction of vectors and the combinations of their results (**FIGURE 6**). The results of the techniques of opening and closing by reconstruction shown in **FIGURE 6** are useful to delete slight details that are not needed in the morphological changes given by the structural element. This function uses a connection of 8-neighbors to strengthen the links between each region.

Next, the resulting image is transformed into a binary image, that is, a matrix of values whose intensity levels are solely 1s or 0s. In this way, it will be easier to identify the echo-negative region through the Watershed transformation and the values of reference obtained at the beginning of the process. The result is shown in **FIGURE 7**, where the indexed image (section a) is compared with the image where the Watershed transformation is applied (section b).

Through the MCR the application is deployed to other platforms. For the case of this article, this is deployed with Java libraries. The compiled code constitutes a core that contains the original functions of the application (MathWorks, 2015). The compilation process includes the invocation of the function M (compiler code), followed by a tag of enveloping code, the name of the project, the class to be created and the path where the created class will be stored, such as is shown in the following line, directly from the command prompt:

```
Mcc -w "java: name_of_the_project, name_of_the_class" -d.\ scratch -T "link.lin" -v "class {name_of_the_class: webapp \ WEB-INF \ mcode \ File .m}
```

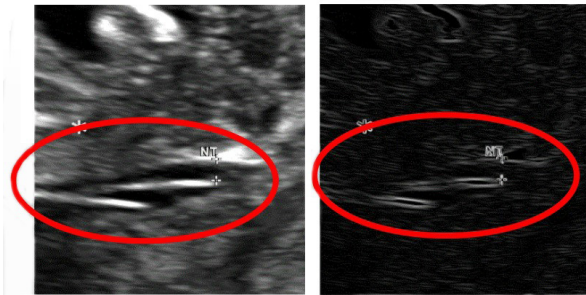


Figure 5. Contour detection through binary gradient / Figura 5. Detección de contornos mediante gradiente binario

binario sobre la imagen. De esta forma, considerando la imagen como un arreglo bidimensional de datos discretos, se determina la energía en cada punto o píxel con una derivada parcial, resultando un contorno dilatado como lo muestra la **FIGURA 5**. En su lado izquierdo se muestra la imagen indexada y en un círculo se señala la translucencia nuchal; además, se muestra el resultado de la magnitud de gradiente y el cálculo de contornos.

Mediante la magnitud de gradiente es posible marcar un poco más el contorno de la región eonegativa de la translucencia nuchal. Se calcula la transpuesta y se hallan los filtros bidimensionales vertical y horizontal, respectivamente, para obtener la magnitud de gradiente que se muestra al lado derecho de la Figura 5. Se altera la condición morfológica del contorno mediante un elemento estructural que dilata la imagen. Aplicando herramientas de apertura por reconstrucción y cierre por reconstrucción, se somete la imagen a un proceso de erosión; se entiende como una resta de vectores y la combinación de sus resultados (**FIGURA 6**). Los resultados de las técnicas de apertura por reconstrucción y cierre por reconstrucción mostrados en la **FIGURA 6** son útiles para eliminar detalles pequeños que no se necesitan en los cambios morfológicos dados por el elemento estructural. Esta función utiliza una conexión de 8-vecinos para fortalecer los enlaces entre cada región.



Figure 6. Application of opening by reconstruction / Figura 6. Aplicación de apertura por reconstrucción

Seguidamente, se transforma la imagen resultante en una imagen binaria, esto es, una matriz de valores cuyos niveles de intensidad solo sean 1s o 0s. De esta forma será más fácil identificar la región ecogegativa mediante la transformada Watershed y con los valores de referencia capturados al principio del proceso. El resultado se muestra en la FIGURA 7, donde se compara la imagen indexada (sección a) con la imagen a la que se le aplica la transformada Watershed (sección b).

Mediante el MCR se despliega la aplicación hacia otras plataformas. Para el caso de este artículo, esta se despliega con librerías para Java. El código compilado constituye un núcleo que contiene las funciones originales de la aplicación (MathWorks, 2015). El proceso de compilación comprende la invocación de la función `Mcc` (Compiler Code), seguida de una etiqueta de código envolvente, nombre del proyecto, la clase a crear y la ruta donde se almacenará la clase creada. Tal como lo muestra la siguiente línea escrita directamente en la ventana de comandos:

```
Mcc -w "java: nombre_del_proyecto, nombre_de_la_
clase" -d.\ scratch -T "link.lin" -v "class {nombre_de_
la_clase: webapp \ WEB-INF \ mcode \ File .m}
```

En Netbeans IDE se reciben las librerías. Para el funcionamiento totalmente integrado deben hacerse programas alternos en Java, que se encargan de comunicar al servidor con el cliente. Estos programas, llamados Servlet, son códigos que se ejecutan en el servidor, y su función en la aplicación será interpretar variables y operarlas mediante las librerías. En combinación con Javax se optimiza la velocidad, debido a que la comunicación cliente-servidor se hace asíncrona, tomando las instrucciones del servidor en un segundo plano. El contenedor de Servlet (Tomcat) invoca al método `init` para volver a empezar. Todos los Servlets se extienden a la clase `HttpServlet`, que define mejor capacidad de procesamiento y extiende la funcionalidad del servidor. La clase `Service` recibe a los objetos `ServletRequest` y `ServletResponse`, que junto al método `DoPost` y `DoGet` le darán vida a la aplicación web (Deitel & Deitel, 2012). Cuando se recibe una petición de la ejecución de un servlet en el servidor Tomcat éste inicia la clase Java (llama a su constructor) y luego invoca al método que inicia el servicio y que inmediatamente envía la respuesta al usuario. La clase Servlet sigue una estructura sencilla; se invocan las librerías creadas junto a los paquetes de Javabuilder y Tomcat. Se construye clase que contiene el método principal, dentro del cual se alojan los objetos que contendrán las variables del código de Matlab. Importando las librerías de Javabuilder y el proyecto compilado en Matlab, se crea la clase pública que contendrá el objeto que, por su parte, estará orientado hacia las variables de Matlab.

Puesto que son imágenes RGB, que sufren cambios –pasando por niveles de intensidad y binarización, hasta llegar a la transformada Watershed aplicada a gradientes erosionados–,

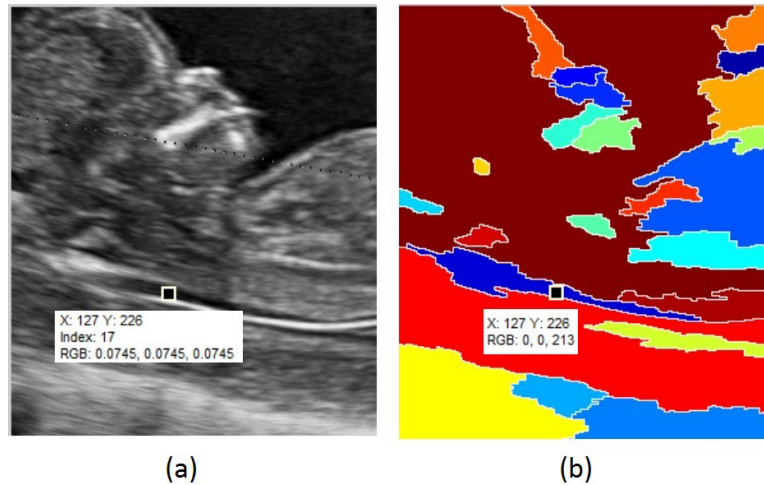


Figure 7. Localization of nuchal translucency: (a) with no modifications, (b) nuchal translucency after implementing Watershed transformation / Figura 7. Localización de la translucencia nuchal; (a) sin modificar, (b) Translucencia nuchal luego de implementar la transformada Watershed

In Netbeans IDE the libraries are received. For integrated total functioning, alternative programs in Java must be done, that are in charge of communicating between the server and the client. These programs, called Servlet, are code that is executed in the server, and their function in the application is to interpret variables and operate them using libraries. In combination with Javax, the velocity is optimized, due to the fact that the client-server communication is asynchronous, receiving the instructions of the server in the background. The Servlet container (Tomcat) invokes the `init` method to begin again. All Servlets are extended to `HttpServlet` class, which has better processing capacity and extends the functionality of the server. The `Service` class receives the objects `ServletRequest` and `ServletResponse`, which together with methods `DoPost` and `DoGet` will kindle the web application (Deitel & Deitel, 2012). When a request for the execution of a Servlet in the Tomcat server is received, the Tomcat server runs the Java class (called its constructor) and then invokes the method that runs the service and that immediately sends the response to the user. The Servlet class follows a simple structure; the libraries created are invoked together with the Javabuilder and Tomcat packages. The class that contains the main method is constructed, within which the objects that will contain the variables of Matlab code are lodged. By importing Javabuilder libraries and the project compiled in Matlab, the public class that will contain the object oriented to Matlab variables is created.

Since the images are RGB, which suffer changes –

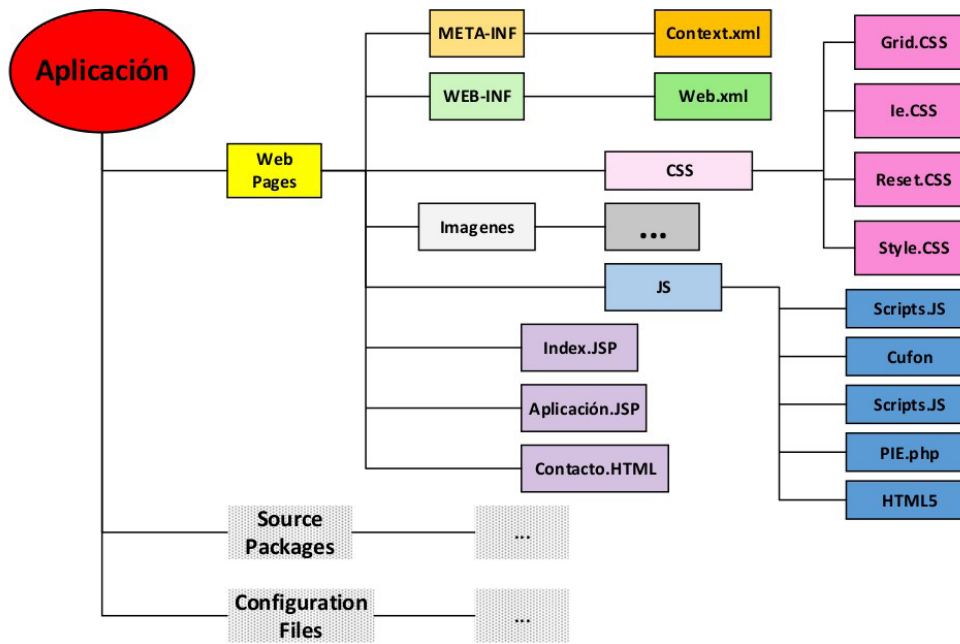


Figure 8. Hierarchical model / Figura 8. Modelo jerárquico

passing by intensity levels and binarization, until reaching the Watershed transformation applied to eroded gradients–, the image goes through three different states: Double, Uint8, and Logical. This change in the state of the variables suggests the usage of a library that adapts well to the process; MArray from Javax.lang was chosen because it was the one closest to the expectations of the process. In **FIGURE 8** the hierarchical model followed by the application can be seen. It consists of three main folders: Web Pages, Sources Packages and Configuration Files.

The Web Pages folder contains the structure visible to the user, which is based on a dynamic web template written in JSP, CSS, XML and JS. In the *Aplicación.JSP* tab the code Ajax, which expedites the application, lowering the computational cost on the server, can be found. The header or *head* of *Aplicación.JSP* contains the line of the Servlet that sends the input parameter that activates the Servlet:

```
<%
....
....
Request.getParameter("valor de entrada");
....
....
%>
```

The second block physically contains the libraries needed for executing the application, together with the con-

la imagen cruza por tres estados distintos: Double, Uint8 y logical. Este cambio en el estado de las variables sugiere el uso de una librería que se adapte bien al proceso; se escogió la MArray de Javax.lang, que fue la que mejor se acercó a las expectativas del proceso. En la **FIGURA 8** se aprecia el modelo jerárquico sobre el cual funciona la aplicación. Consta de tres ficheros principales: Web Pages, Sources Packages y Configuration Files.

El fichero Web Pages contiene la estructura visible por el usuario, que se basa en una plantilla web

dinámica escrita en JSP, CSS, XML y JS. En la pestaña de *Aplicación.JSP* se encuentra el código Ajax, que agiliza la aplicación reduciendo el costo computacional en el servidor. La cabecera o *head* del archivo *Aplicación.JSP* contiene guión del Servlet que envía el parámetro de entrada que activa al Servlet:

```
<%
....
....
Request.getParameter("valor de entrada");
....
....
%>
```

El segundo bloque contiene físicamente las librerías necesarias para correr la aplicación, además de los archivos de configuración de Tomcat. El último bloque contiene los paquetes de configuración aportados por NetBeans IDE.

III. Resultados

En la investigación fueron analizadas veinte imágenes de ultrasonido, de este grupo: en aquellas donde se aprecia la zona eonegativa de la translucencia nucal, sin ruido y sin interferencia en la imagen, la segmentación fue exitosa; y en aquellas donde se presentó interferencia entre regiones –algo común en el escáner de ecografía–, se aprecian otras pequeñas zonas de segmentación que no corresponden a la zona de interés. La Figura 9 muestra un ejemplo donde se presenta una pequeña zona que no corresponde a la zona de interés (Figura 9). En el análisis las imágenes fueron caracterizadas como una matriz de datos discretos de tipo *double*, cuyo valor por pixel es representado con un índice de color verdadero RGB. Las imágenes de ultrasonido normalmente vienen cargadas de un ruido característico conocido como *speckle noise* –resultado de un haz de iluminación coherente– (Esqueda & Palafox, 2005), que trans-

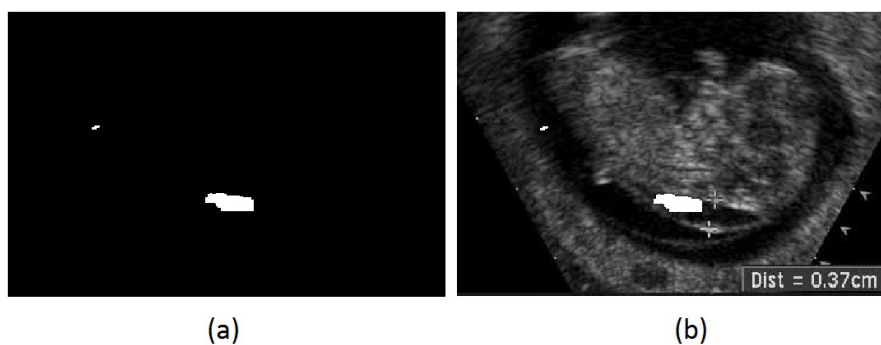


Figure 9. Segmentation of translucency, plus a segmented area out of the zone of interest / Figura 9. Segmentación de la translucencia, más un área segmentada fuera de la zona de interés

forma la imagen en una serie de regiones conectadas cuyos bordes son difíciles de identificar. Esto llevó a implementar filtros por área para reducir la segmentación a la zona de interés.

La interconexión de las plataformas se escaló en la configuración del servidor Tomcat desde el localhost hasta llegar a la red WAN. Para esto en los archivos de configuración del servidor se cambiaron los conectores del puerto de escucha en el servidor. Al mantenerse por defecto el puerto 8080 en el archivo `Server.xml`, las pruebas de funcionamiento se realizan mediante la dirección de loopback o de localhost: 127.0.0.1:8080. Para mostrar el funcionamiento de la plataforma en un terminal distinto se cambió la dirección del server, conduciendo el flujo de información desde Internet hacia el terminal configurado como servidor Tomcat, utilizando la dirección de red LAN 192.168.1.xx, la cual es asignada a los equipos conectados al WiFi que ofrece la Universidad de Pamplona en el Bloque Simón Bolívar, de Ingenierías. Al detectar y corregir las fallas del funcionamiento presentadas en la anterior etapa de prueba, se utilizó la IP pública <http://201.245.175.205>, asignada por la oficina de infraestructura tecnológica de la Universidad de Pamplona; se cambió el estado del archivo `Server.xml` nuevamente para redireccionar el flujo de datos al servidor Tomcat. Se estableció un subdominio para la configuración del DNS e identificar la terminal con el nombre de GIBUP. El link de la aplicación responde al nombre de <http://gibup.unipamplona.edu.co/>. Con la plataforma se logró aplicar de manera inmediata el procesamiento sobre las imágenes suministradas al servidor, a través de una interfaz en la web (FIGURA 10). El usuario mediante la navegación entre pestañas se conduce hasta la zona de aplicación.

Como se muestra en la FIGURA 11, el usuario, después de suministrar la imagen de ecografía obstétrica, puede con un clic correr la aplicación. Se ven los resultados más relevantes que se llevaron a cabo en la imagen.

La FIGURA 11 ilustra el resultado de la segmentación, producto de aplicar la transformada Watershed. Se muestran seis imágenes, que corresponden al proceso de la segmentación de la zona de translucencia nuchal. De manera respectiva se muestra la imagen original sin alterar, seguida de la transformada Watershed aplicada directamente a la

figuration files of Tomcat. The last block contains the configuration packages given by NetBeans IDE.

III. Results

In the research 20 ultrasound images were analyzed. Of this group, in those where the echo-negative zone of nuchal translucency can be seen without noise or interference, the

segmentation was successful; but in those that presented interference between regions—a common situation with the ultrasound scanner—, some small segmentation zones can be seen that do not correspond to the zone of interest. FIGURE 9 shows an example of a small zone that does not correspond to the zone of interest. In the analysis the images were characterized as a matrix of discrete data of *double* type, whose value per pixel is represented with an RGB true color index. Ultrasound images normally come charged with a characteristic noise known as *speckle noise*—the result of a coherent light beam— (Esqueda & Palafox, 2005), that transforms the image into connected regions whose edges are difficult to identify. This led to the need to implement filters by area to reduce the segmentation to the zone of interest.

The interconnection of the platforms was scaled in the configuration of the Tomcat server from the localhost to reach the WAN network. For this, in the configuration files of the server the connectors of the listener port have been changed. By leaving as default port 8080 in the `Server.xml` file, functioning tests are performed through the loopback address or localhost: 127.0.0.1:8080. To show the functioning of the platform in a different terminal, the address of the server was changed, directing the information flow from the Internet to the terminal configured as the Tomcat server, using the address of a network LAN 192.168.1.xx, which is assigned to the devices connected to the WiFi available at the Universidad de Pamplona (Bloque Simón Bolívar, Ingenierías). When detecting and correcting the functioning faults presented in the previous test stage, the public IP <http://201.245.175.205> assigned by the technological infrastructure office of the Universidad de Pamplona was used; the state of the file `Server.xml` was changed again to redirect the flow of data to the Tomcat server.

A subdomain for configuration of the DNS and identification of the terminal with the name GIBUP was established. The link of the application responds to the name of <http://gibup.unipamplona.edu.co/>. With the platform the processing of the images provided to the server can be immediately applied, through a web interface (FIGURE 10). The user is taken to the application zone by tabbed browsing.

As shown in FIGURE 11, the user, after providing the obstetric sonography image, can execute the application with a click. The most relevant results can be seen in the image.

FIGURE 11 illustrates the result of segmentation, the product of applying the Watershed transformation. Six images that correspond to the process of segmentation of the nuchal translucency zone are shown. Respectively, the original image, without alteration, is shown, followed by the Watershed transformation directly applied to the magnitude of the binary gradient. This, the second subimage of FIGURE 11, is to show that, without the morphological alteration in the image, a sufficient size of grain of the gradient cannot be obtained in order to correctly determine the zone of translucency. In FIGURE 12 direct application of the Watershed transformation over the magnitude of the binary gradient without applying erosion or dilatation is shown.

After applying morphological operations of dilatation and erosion, a better image to work with is obtained using a structural disc element. FIGURE 13 is the result of applying the morphological operations mentioned above.



Figure 12. Application of Watershed transformation over the binary gradient with no morphological alterations / Figura 12. Aplicación de la transformada Watershed sobre el gradiente binario sin alteraciones morfológicas



Figure 10. Application interface / Figura 10. Interfaz de la aplicación



Figure 11. Result of the process in a terminal connected to the server / Figura 11 Resultado del proceso en un terminal conectado al servidor

magnitud de gradiente binario. Esta, la segunda subimagen de la FIGURA 11, es para mostrar que sin la alteración mor-



Figure 13. Image after applying the erosion and dilatation operations / Figura 13. Imagen luego de aplicar las operaciones de erosión y dilatación

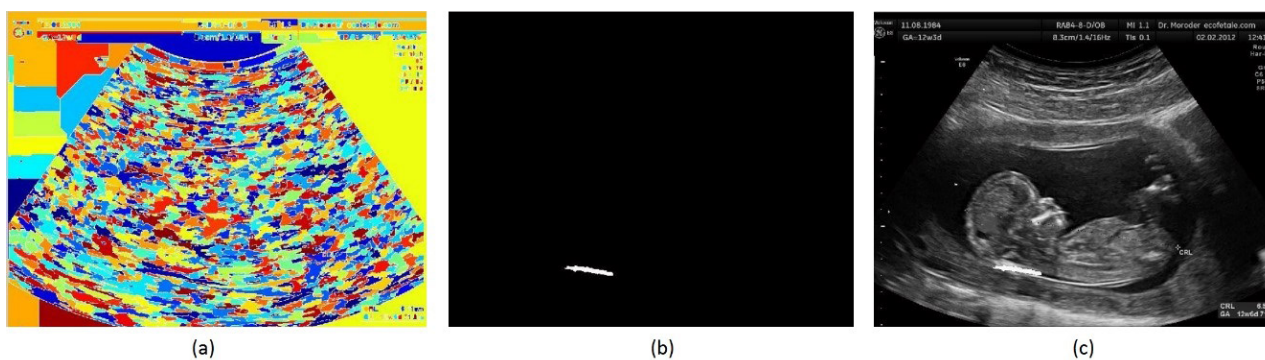


Figure 14. Image after applying the erosion and dilatation operations: (a) Watershed transformation; (b) binary image; (c) segmentation of nuchal translucency in the original image / Figura 14. Imagen luego de aplicar las operaciones de erosión y dilatación. (a) Transformada Watershed; (b) Imagen binaria; (c) Segmentación de la translucencia nuchal en la imagen original

fológica en la imagen no puede obtenerse un tamaño de grano del gradiente suficiente para determinar la zona de translucencia correctamente. En la FIGURA 12 se muestra la aplicación directa de la transformada Watershed sobre la magnitud del gradiente binario sin aplicar erosión ni dilatación.

Luego de aplicar las operaciones morfológicas de dilatación y erosión, utilizando un elemento estructural de disco, se obtiene una imagen con la que se puede trabajar mejor. La FIGURA 13 es el resultado de aplicar dichas operaciones morfológicas.

En la FIGURA 14 se puede observar el resultado de aplicar la transformada Watershed. Se obtuvo una segmentación de todas las regiones que comparten la misma intensidad. La transformada Watershed representa esta similitud de intensidad con un color distinto para cada nivel. A cada región después de la operación morfológica le fue alterada su estructura mediante un elemento estructural de disco (aplicado a cada pixel) para exagerar sus características morfológicas y así los bordes de la imagen fueran más notorios. Esto equivale a añadir más intensidad o energía al gradiente morfológico. De esta forma, al aplicar Watershed, las áreas segmentadas serían más grandes y más fáciles de trabajar. Al binarizar la FIGURA 14 (sección a), se obtuvo –mediante los puntos de referencia que señalan la zona econegativa de la translucencia obtenidos al principio del proceso– una región verdadera (estado lógico en 1 para la imagen BW), que se muestra en la sección b de la misma figura. Esta imagen binaria es superpuesta en la imagen original para obtener finalmente la segmentación de la translucencia nuchal (Sección c de la FIGURA 14).

Para subir la aplicación a la web (<http://gibup.unipamplona.edu.co>) fue necesario generar un archivo .WAR [Web Application Archive], resultado de la compilación en NetBeans IDE, que se almacenó en el servidor Tomcat. Este se despliega mediante el símbolo de sistema con la línea `%CATALINA_HOME%\bin\startup.bat`. Luego en los archivos de configuración del servidor Tomcat, se editó la IP pública, donde se mostrará finalmente la aplicación. La aplicación

FIGURE 14 shows the result of applying the Watershed transformation. A segmentation of all the regions that share equal intensity was obtained. The Watershed transformation represents this similitude of intensity with a different color for each level. After the morphological operation, the structure of every region was altered through a disc structural element (applied to every pixel) to exaggerate its morphological characteristics so that the edges of the image were more noticeable. This is equivalent to adding more intensity or energy to the morphological gradient. Thus, by applying Watershed, the segmented areas become bigger and easier to work with. When binarizing FIGURE 14 (section a) –using the points of reference that mark the echo-negative zone of translucency obtained at the beginning of the process– a true region is obtained (logical state of 1 for the BW image), which is shown in section b of the same figure. This binary image is superposed on the original image to finally obtain the segmentation of nuchal translucency (section c of FIGURE 14).

To upload the application to the web (<http://gibup.unipamplona.edu.co>), it was necessary to generate a .WAR file [Web Application Archive], the result of the compilation in NetBeans IDE, which was stored in the Tomcat server. This is deployed through the command prompt with the line `%CATALINA_HOME%\bin\startup.bat`. Then, in the configuration files of the Tomcat server, the public IP was edited, where the application will be finally shown. The application uses email as a communication method to apply the client's request and the respective processing of the image, because by these means there is more control over the use of the application, with the objective of broadening the resources of

the research, storing the images processed in the computer equipment of the GIBUP laboratory. On the recommendations of a professional physician, this method is maintained because it is necessary to generate more experience in the research field and thus acquire better validation.

Conclusions

An innovative methodology was developed based on a system that permits the segmentation of the nuchal translucency zone in ultrasound obstetric images to be performed. Straightaway, the adequacy of the algorithm implemented in Matlab to transform it into a functional application in Java platforms was achieved. In this way, the system in the cloud correctly performs the processing of the image for automatic detection of the nuchal translucency zone. It was determined that ultrasound images have an intrinsic noise state that hampers segmentation because they lack visible edges, and due to the physical behavior of the ultrasound beam, whose energy is distributed coherently in space (it has a relation of constant phase), multiplicative noise, which deforms the image and corrupts the information in it, is produced. For that reason, it was decided to use mathematical morphology techniques to find the most important regions in the image.

As concerns the processing, storage and transmission of the process via the web, it was necessary to implement programming in Javax, JavaScript, CSS, HTML, and JSP. This caused the server to operate in an asynchronous manner, expediting the data transference between the server and the user. The platform was developed using open source and free distribution programming languages. This expands its distribution, making it possible to be executed under any computational architecture with Java. In addition, in order to debug the highest amount of possible errors before sending it to the web, functioning tests were performed in the local host. To obtain the image from the user, email was implemented as the communication system, as the mechanism for uploading the sonographic image file, because by this method the number of images can be augmented to expand the horizons of this research. In addition to the fact that there will be greater control over the application, the number of tests is expected to increase, which will improve the level of validation of the application.

utiliza el correo electrónico como método de comunicación para aplicar la solicitud del cliente y el respectivo procesamiento de la imagen, puesto que de esta forma se tiene mayor control sobre el uso de la aplicación, y con el objetivo de ampliar los recursos de la investigación, almacenando las imágenes procesadas en los equipos del laboratorio de GIBUP. Por recomendaciones de un médico profesional, se mantiene también este método porque se necesita generar una mayor experiencia en el campo de investigación y de esta forma adquirir una mejor validación.

Conclusiones

Se desarrolló mediante una novedosa metodología un sistema que permite realizar la segmentación de la zona de translucencia nuchal en imágenes de ultrasonido obstétrico. Seguidamente se logró adecuar el algoritmo implementado en Matlab para transformarlo en una aplicación funcional en plataformas Java. De esta forma el sistema en la nube realiza de manera correcta el procesamiento de la imagen para la detección automática de la zona de translucencia nuchal. Se determinó que las imágenes de ultrasonido tienen un estado de ruido intrínseco que dificulta la segmentación, ya que esta carece de bordes visibles, y debido al comportamiento físico del haz de ultrasonido, cuya energía se distribuye en el espacio de forma coherente (que guarda una relación de fase constante), se produce el ruido multiplicativo que deforma la imagen y corrompe la información que hay en ella. Por tal motivo se determinó usar técnicas de morfología matemática para encontrar las regiones más importantes en la imagen.

En cuanto a procesamiento, almacenamiento y transmisión del proceso vía web fue necesario implementar programación en Javax, JavaScripts, Css, Html, JSP. Esto llevó a que el servidor trabajara de manera asíncrona, agilizando la transferencia de datos entre el servidor y el usuario. La plataforma se desarrolló aplicando lenguajes de programación de código libre y de libre distribución. Esto masifica su distribución haciendo posible que se corra la aplicación bajo cualquier arquitectura computacional con Java. Además, se realizaron pruebas de funcionamiento por *local host* antes de mandarlo a la web, para depurar la mayor cantidad posible de errores. Para la obtención de la imagen de parte del usuario se implementó el correo electrónico como sistema de comunicación, como mecanismo para subir el archivo de imagen ecográfica, puesto que de esta forma se podrá aumentar el número de imágenes para ampliar los horizontes de la investigación. Además de que se tendrá el control sobre el uso de la aplicación, se espera aumentar el número de pruebas con las que mejorará el nivel de validación de la aplicación.

Recomendaciones para trabajo futuro

Para futuras referencias, se plantea implementar la misma técnica de segmentación por Watershed en lenguaje Python, el cual es multiplataforma y favorece la comunicación entre el código fuente de la aplicación y la

plataforma web diseñada en Java. Actualmente se está trabajando en una parte de la plataforma que reciba las imágenes desde la misma plataforma, sin intermediar por el correo electrónico. Y además se planea ampliar el sistema para añadir más aplicaciones, con otras opciones de procesamiento, y extender su uso más allá de las señales biológicas. *ST*

Recommendations for future work

For future research, it is proposed to implement the same Watershed segmentation technique in Python language, which is multiplatform and fosters communication between the application source code and the web platform designed in Java. Currently, work is being carried out on a part of the platform that receives images from itself, without email intermediation. Also, it is planned to expand the system to add more applications, other processing options, and extend its use beyond the biological signals. *ST*

References / Referencias

- 18 Week Ultrasound Down Syndrome (n.d). [online]. Retrieved from <http://imgarcade.com/1/18-week-ultrasound-down-syndrome/>
- Apache Foundation. (2015). *Apache tomcat* [on line]. Retrieved from <http://apachefoundation.wikispaces.com/Apache+Tomcat>
- Bonilla, F. & Machado, L. (2010). *Ultrasonidos 3D-4D en obstetricia*. Madrid, Spain: Médica Panamericana.
- De Luca, D. (2011). *HTML5: Entiende el cambio, aproveche su potencial*. Buenos Aires, Argentina: Users.
- Deitel, P. & Deitel, H. (2012). *Cómo programar en Java* [9th ed.]. Ciudad de México, México: Pearson.
- Down syndrome ultrasound nuchal translucency* (2014). [on line]. Retrieved from <http://tuningpp.com/down-syndrome-ultrasound-nuchal-translucency/>
- Esqueda, J. & Palafox, L. (2005). *Fundamentos de procesamiento de imágenes*. Baja California, México: Universidad Autónoma de Baja California.
- Freivald, J. [Coord.]. (2015). *EAI – Enterprise application integration* [on line - Information Builders]. Retrieved from <http://www.informationbuilders.com/eai-enterprise-application-integration>
- González, M. & Ballarin, V. (2008). Segmentación de imágenes utilizando la transformada Watershed: obtención de marcadores mediante lógica difusa. *IEEE Latin America Transactions*, 6(2), 223-228.
- González, R. & Wood, R. (2006). *Digital image processing*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Groussard, T. (2010). *Java enterprise edition: desarrollo de aplicaciones web con JEE 6*. Barcelona, Spain: ENI.
- Homebrewed (2010, Nov. 6th). *Back to the fun times and good news!* [online]. Retrieved from <http://homebrewedbaby.com/category/before/page/66/>
- Kane, J. & Sternheim, M. (2007). *Física*. Barcelona, Spain: Reverté.
- Kroenke, D. M. (2003). *Procesamiento de bases de datos: fundamentos, diseño e implementación*. Ciudad de México, México: Pearson.
- Kurjak, A. & Chervenak, F. (2009). *Ecografía en Obstetricia y Ginecología*. Buenos Aires, Argentina: Médica Panamericana.
- MathWorks. (2014). *Documentation / Watershed* [on line]. Retrieved from <http://es.mathworks.com/help/images/ref/watershed.html?searchHighlight=w>
- MathWorks. (2015). *Matlab compiler* [on line]. Retrieved from <http://es.mathworks.com/products/compiler/>
- McGraw-Hill Access: Emergency medicine [web site]. Retrieved from <http://www.accessem.com/http://www.accessem.com/>
- McGraw-Hill Access: Medicine [web site]. Retrieved from <http://www.accessmedicine.com/imageindex.aspx>
- McGraw-Hill Access: Pediatrics [web site]. Retrieved from <http://www.accesspediatrics.com/>
- McGraw-Hill Access: Surgery [web site]. Retrieved from <http://www.accesssurgery.com/>
- Me Yêu Con (2015). *Mayeucon.org* [portal]. Retrieved from <http://meyeucon.org/>
- Moroder, W. (2010). *File: Fetal oesophagus at 12 weeks ecografía Dr. Wolfgang Moroder.jpg* [imagen - CC BY-SA 3.0]. Retrieved from http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fetal_oesophagus_at_12_weeks_ecografía_Dr_Wolfgang_Moroder.jpg
- Navas, K & Jayadevan, R. (2014). *LAB Primer through MATLAB®: Digital signal processing, digital image processing, digital signal processor and digital communication*. New Delhi, India: PHI.
- Oracle. (2015). *Java techinfo* [on line]. Retrieved from <http://www.java.com/es/download/faq/techinfo.xml>
- Pérez, F., López, C., & Villar, R. (2013). *Fundamentos físicos de los procesos biológicos*. Alicante, Spain: Club Universitario.
- Rodríguez, L.G. (2013, April 17th). *Visión artificial con Matlab: detección y seguimiento de objetos* [video]. [online - Math-Works]. Retrieved from: <http://www.mathworks.com/videos/computer-vision-with-matlab-for-object-detection-and-tracking-82036.html>
- Schmidt, G. (2007). *Ecografía: De la imagen al diagnóstico*. Madrid, Spain: Médica Panamericana.

- Universitäts KlinikumBonn (2015). *Risikokalkulation* [online]. Retrieved from <http://www.ukb.uni-bonn.de/42256BC8002A-F3E7/vwWebPagesByID/97D4B49C2011B21DC12577F30059478B>
- Vera, A. & Arcila J. F (2009). *Segmentación de imágenes microscópicas odontológicas mediante transformada Watershed*, [ponencia en XIV Simposio de tratamiento de señales, imágenes y visión artificial, Pereira, Colombia]. Recuperado de http://gdsproc.com/congreso/vera_stsiva_2010.pdf
- Wu, Q., Merchant, F., & Castleman, K. (2008). *Microscope image processing*. Oxford, UK: Elseiver.

CURRICULUM VITAE

Kevin Figueroa Jessid Maza Telecommunications Engineer (Universidad de Pamplona, Colombia), certified on Technology Networking by D-Link Technology Institute. Able to investigate, design, simulate, implement, configure and implement Information and Communications Technologies [ICT] for processing, transmission and storage of information. Speaker for Electronic Fetal Monitoring System Using Electromyography and Electrocardiography Project (XVII Encuentro Nacional y XI Internacional de Semilleros de Investigación Redcolsi; II Encuentro Nacional de Semilleros de Telecomunicaciones de Reditel). / Ingeniero en Telecomunicaciones, egresado de la Universidad de Pamplona, Colombia (2015) con certificación en Tecnología de Networking de D-Link Technology Institute. En capacidad de Investigar, diseñar, simular, implementar, configurar y aplicar las tecnologías de la información y las comunicaciones para el procesamiento, transmisión y almacenamiento de la información. En 2014 participó como ponente del proyecto Sistema Electrónico de Monitoreo Fetal Utilizando Electromiografía y Electrocardiografía, en el XVII Encuentro Nacional y XI Internacional de Semilleros de Investigación Redcolsi, y el II Encuentro Nacional de Semilleros de Telecomunicaciones de Reditel.

Luis Enrique Mendoza Electronics Engineer and Master in Biomedical Engineering (Universidad de los Andes, Venezuela). Professor and Director of Biomedical Engineering research group at Universidad de Pamplona. His main interest areas are digital signal and image processing. Has participated as speaker in Claib, Cimenics, Latincom, Andescon, CIT, Cieta and CCIB, etc. / Ingeniero electrónico (2005), graduado de maestría en Ingeniería Biomédica en la Universidad de los Andes (Mérida, Venezuela, 2008); director del grupo de investigación en Ingeniería Biomédica de la Universidad de Pamplona y actualmente docente del programa de Ingeniería en Telecomunicaciones, en áreas como Procesamiento digital de señales e imágenes. Además, ha desarrollado diferentes ponencias en eventos tales como Claib, Cimenics, Latincom, Andescon, CIT, Cieta y CCIB entre otros.