

# Análisis de la Morfología de Glóbulos Rojos en Dispositivos Táctiles a través de un CAPTCHA

Antoni Jaume-i-Capó, Carlos Mena-Barco and Biel Moyà-Alcover

Departament de Matemàtiques i Informàtica - UGiVIA

Universitat de les Illes Balears

Edifici Anselm Turmeda. 07122 Palma. Spain

+34 971 25 9721

antoni.jaume@uib.es

## ABSTRACT

Se presenta un sistema experimental para el control de acceso de humanos en sistemas de la información, que además permite analizar la morfología de los glóbulos rojos en una imagen de una muestra de sangre de pacientes con Sicklemia, capturada con un microscopio. El sistema presenta una imagen con glóbulos rojos al usuario para que este analice su morfología. El sistema, puede verificar si la respuesta del usuario es correcta con una cierta probabilidad, habilitando o no el acceso al sistema de información. Los resultados indican que el sistema presentado es adecuado para su uso en dispositivos táctiles, que el análisis morfológico es fiable y que el control de acceso es seguro.

## CCS Concepts

•Crowdsourcing •Collaborative interaction •Touch screens  
•Collaborative and social computing •Social tagging

## Keywords

Human-based computation; CAPTCHA; Tactile Devices; Image Analysis

## 1. INTRODUCCIÓN

La sicklemia es una hemoglobinopatía o trastorno de la sangre generado por un defecto genético que se transmite de padres a hijos, muy presente en regiones tropicales. Presenta una estructura y producción anormal de la molécula de la hemoglobina produciendo una alteración en el transporte de oxígeno [4]. Se caracteriza por un cambio en la morfología de los glóbulos rojos que pierden su forma circular característica y adquieren un aspecto elongado (ver Figura 1).

Informes de la Organización Mundial de la Salud (OMS) [15] señalan que aproximadamente un 5% de la población mundial es portadora de genes causantes de hemoglobinopatías, con mayor frecuencia en regiones tropicales, y que algunas pueden alcanzar un 25%. Además, con los procesos migratorios estos trastornos se han difundido a un gran número de países.

Una vez diagnosticada la enfermedad, el seguimiento de los pacientes se realiza con análisis y contajes de los glóbulos rojos según su morfología en muestras de sangre (formas normales, formas elongadas y otras formas) (ver Figura 1). Existen trabajos

en procesamiento de imágenes para el conteo automático de eritrocitos y el análisis de su forma en muestras de sangre [4][1][2][6][26][1]. Sin embargo, la superposición, la oclusión o el agrupamiento de eritrocitos provoca resultados erróneos (Figura 2). Además, en la preparación de las muestras para ser observadas en el microscopio, se extiende sobre un cubreobjetos mediante la técnica de extensión o frotis de sangre, provocando que haya más grupos de glóbulos rojos y superposiciones debido a este proceso. Por este motivo, en la mayoría de laboratorios y hospitales observan y realizan contajes de glóbulos rojos según su morfología de manera manual utilizando un microscopio, lo que implica una dedicación de recursos humanos durante tiempos considerables. Para un humano analizar la morfología de los glóbulos rojos en superposiciones, oclusiones y agrupamientos (Figura 2) es una tarea sencilla, aunque si tiene que analizar miles de ellos puede ser una tarea tediosa. Una media de 2800 millones de personas se conectan a Internet cada día [7]. Una imagen de sangre periférica contiene unos 100 glóbulos rojos [4], ver Figura 3. Si al 1% de los usuarios que cada día se conecta a Internet, se les pudiera preguntar que forma tiene un único eritrocito, se podrían analizar 280000 imágenes cada día.



Figura 1. Morfologías eritrocitarias.

En los casos que una tarea realizada por humanos produce muchos menos errores que una automatizada, se puede utilizar como un CAPTCHA [23], para el control de acceso a un sistema restringido a humanos. Además, se puede implementar un sistema para resolver la tarea con un enfoque de computación basada en humanos (HbC). La HbC es una técnica informática en la que un proceso computacional desempeña su función mediante la externalización de ciertos pasos hacia el ser humano. Este enfoque utiliza las diferencias en las capacidades y los costos alternativos entre los seres humanos y los agentes informáticos para lograr una interacción simbiótica humano-ordenador [17].

En este trabajo, presentamos una interfaz de usuario que permite localizar, contar e identificar glóbulos rojos en una imagen de una muestra de sangre capturada con un microscopio. El usuario debe señalar en la imagen los glóbulos rojos con una morfología

SAMPLE: Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee.

Conference '10, Month 1–2, 2010, City, State, Country.

Copyright 2010 ACM 1-58113-000-0/00/0010 ...\$15.00.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/12345.67890>

determinada. Los resultados de los experimentos realizados indican que esta interfaz es adecuada para el control de acceso a sistema informático a través de dispositivos táctiles y que permite localizar, contar e identificar los glóbulos rojos con morfología elongada, característica de los pacientes con sicklemlia.



**Figura 2. Superposición, oclusión y agrupamiento de eritrocitos.**

## 2. BACKGROUND

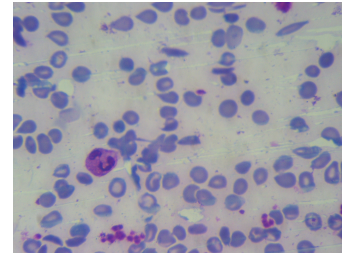
En los últimos años se han publicado diversas revisiones sobre HbC [17], algunas centradas en aplicaciones para la salud y la bioinformática [19][5]. En estas revisiones se muestran diferentes estrategias para que usuarios humanos aporten su conocimiento en la resolución de problemas.

Una posible estrategia para los sistemas HbC es pedir la ayuda de usuarios altruistas, que en algunos proyectos se ha demostrado que es muy efectivo. Galaxy Zoo [18] es una web, donde los usuarios de forma voluntaria ayudan a clasificar imágenes de galaxias según su forma y su rotación. En sus primeros 10 días se capturaron 8.000.000 clasificaciones morfológicas sobre las imágenes de las galaxias. El proyecto Planet Hunters [8], pregunta a usuarios voluntarios que analicen como el brillo de las estrellas cambia con el tiempo, en las imágenes de la misión espacial Kepler. El objetivo es descubrir nuevos planetas y hasta el momento se han realizado 12 millones de observaciones. CellSlider [16], es una web que presenta imágenes con las células teñidas de biopsias de pacientes que padecen cáncer. Se pide a los voluntarios etiquetar los tipos de células y cuantificarlas. En sus tres primeros meses se analizaron 550.000 imágenes.

Otra estrategia, que se está aplicando cada vez más, es la de incentivar la participación a través de la diversión con videojuegos. Phylo [22] es un juego para resolver el problema de Multiple Sequence Alignment (MSA), que puede ser jugado por los usuarios con un mínimo conocimiento previo de biología. Recibieron 350.000 soluciones con un 70% de precisión. MalariaSpot [10] es un juego para detectar parásitos de la malaria en las imágenes digitalizadas de muestras de sangre. Junto con un algoritmo de decisión que combina el análisis de varios jugadores con el objetivo de obtener un resultado de detección colectiva con una precisión del 99%. MOLT [12] es un juego que utiliza HbC y técnicas de inteligencia artificial, donde los usuarios tienen que diagnosticar si glóbulos rojos están infectados con la malaria a partir de decisiones binarias. Demostraron que la precisión de los usuarios no expertos estaba dentro del 1,25% de los diagnósticos realizados por un médico profesional. EyeWire es un juego para mapear el cerebro que cuenta con 82.000 usuarios activos.

Los mercados de microtareas recompensan con dinero a los usuarios para que resuelvan las tareas de sistemas HbC. En el caso del juego MOLT se dan puntos al usuario por cada conjunto de

imágenes etiquetadas, en estos sistemas se recompensa en pequeñas cantidades de efectivo. Para detectar los pólipos asociados con el cáncer colorrectal a partir de colonografías tomográficas computarizadas, en [13] utilizaron el servicio Amazon Mechanical Turk (AMT). Pagaron a los usuarios para que etiquetaran si las imágenes contenían pólipos o no. Se obtuvo una precisión del 85% en comparación con el etiquetado de expertos. Integraron el resultado de los usuarios con técnicas de inteligencia artificial [25] y se obtuvo una precisión del 91%.



**Figura 3. Imagen de sangre periférica de la base de datos <http://erythrocytesidb.uib.es> [4]**

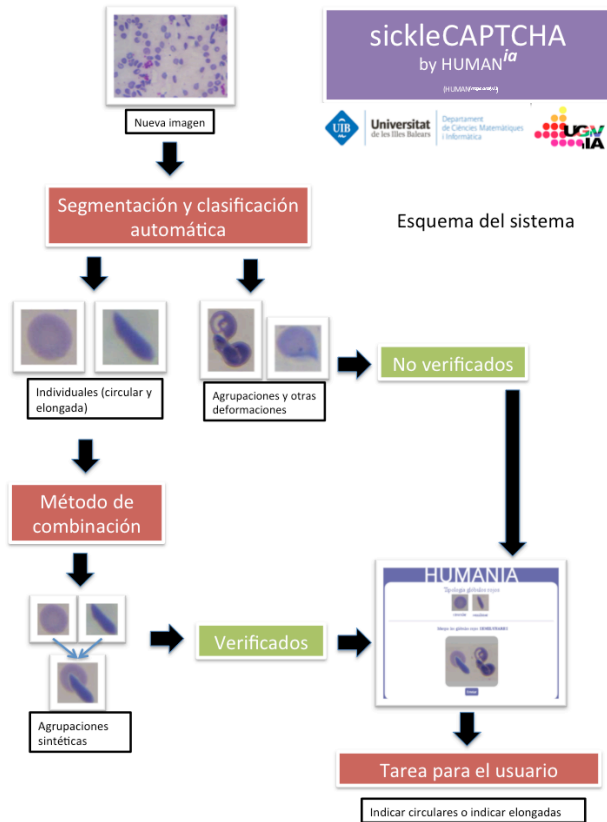
A veces es posible obligar a que los usuarios de un sitio web realicen una tarea si desean utilizar sus servicios. El sistema más extendido y conocido es reCAPTCHA de Google [23]. reCAPTCHA permite controlar el acceso a un sistema restringido a humanos. Para que el usuario pueda acceder al sistema se le presenta una imagen distorsionada de dos palabras. Una palabra es conocida por el sistema y la otra es una palabra escaneada que se necesita digitalizar, y cuya digitalización es una tarea computacional difícil. Si el usuario escribe de forma correcta la palabra conocida por el sistema, este le permite acceder y considera que ha escrito correctamente la palabra desconocida. De esta forma, el sistema permite controlar que el usuario es una persona humana y además le fuerza a digitalizar palabras desconocidas. Esta estrategia se utilizó con médicos para encontrar relaciones entre medicamentos y problemas en los pacientes [11]. Si los médicos querían prescribir un medicamento, antes se les obligaba a relacionarlo con un problema clínico. En un año, 867 médicos relacionaron 239.469 problemas clínicos de medicamentos, con una especificidad del 99.6% y una sensibilidad del 42.8%, en comparación con una revisión realizada por un experto.

## 3. SISTEMA EXPERIMENTAL

Se presenta un sistema experimental para el control de acceso de humanos en sistemas de la información y que además permite analizar la morfología de los glóbulos rojos en una imagen de una muestra de sangre capturada con un microscopio, de pacientes con Sicklemia (sickleCAPTCHA). Elegimos la estrategia de forzar al usuario a realizar la tarea, como control de acceso a humanos de un sistema, por los siguientes motivos:

1. Analizar la morfología de un glóbulo rojo es una tarea muy sencilla para los humanos.
2. Los métodos automáticos existentes para analizar la morfología de glóbulos rojos, devuelven resultados erróneos en casos de superposición, de oclusión o de agrupamiento de glóbulos rojos.
3. Indicar que glóbulos rojos de una imagen tienen una forma determinada, se puede realizar sobre un dispositivo táctil tocando los glóbulos rojos correspondientes.

- Indicar la morfología de un conjunto pequeño de glóbulos rojos, es una tarea que no requiere mucho tiempo. Por lo tanto permitiría un control de acceso con un tiempo de respuesta aceptable.
- Un estudio de usabilidad de reCAPTCHA sobre dispositivos táctiles [20][21], concluyó que su uso con teclados virtuales tendía a provocar errores.



**Figura 4. Esquema del sistema sickleCAPTCHA**

En la Figura 4, se presenta un esquema completo del sistema que consta de 3 fases: la segmentación y la clasificación automática, el método de combinación, y la tarea para el usuario.

**Segmentación y clasificación automática:** Cuando el sistema recibe una nueva imagen, la pre-procesa aplicando un método de segmentación y de análisis automático de la morfología de los glóbulos rojos [4]. El método de clasificación automática indica si los glóbulos rojos que aparecen en la imagen tienen forma circular, elongada u otra. Este método presenta una eficiencia del 100% en el análisis de la morfología en glóbulos rojos individuales y del 70% en agrupaciones de hasta 3 glóbulos rojos. A partir de aquí, el sistema experimental considera que el análisis morfológico de los glóbulos rojos individuales realizado por el método automático es correcto, por tanto los marca como validados. El sistema experimental utilizará estos resultados para validar la respuesta del usuario humano. En cambio, considera que el análisis morfológico de las agrupaciones de glóbulos rojos indicada por el método automático es dudoso, por eso los marcará como no verificados.

**Método de combinación:** Para los glóbulos rojos individuales el método automático tiene una eficiencia del 100%, el sistema experimental genera agrupaciones aleatorias a partir de los glóbulos rojos individuales, siguiendo el mismo mecanismo que en [4]. De esta forma el sistema puede presentar al usuario humano agrupaciones de glóbulos rojos en el que su análisis morfológico está verificado, y así impedir que un sistema automático pueda analizar la morfología de esta agrupación con un 100% de eficiencia.

**Tarea para el usuario:** Cuando a través del sistema experimental se quiere verificar que un usuario que se conecta es humano, el sistema experimental genera una nueva imagen de forma aleatoria a partir de la selección aleatoria de una agrupación de glóbulos rojos verificados y una imagen de glóbulos rojos no verificados. El sistema presenta esta nueva imagen al usuario y le solicita que marque o bien los glóbulos rojos con forma circular o bien los glóbulos rojos con forma elongada. Si cuando el usuario finaliza la tarea, sus respuestas de la parte verificada de la imagen son correctas, se considera que el usuario es humano y se da una cierta fiabilidad a la respuesta del usuario en la parte no verificada. A partir de los parámetros de configuración del sistema experimental, cuando cierto número de usuarios coincidan en las respuestas de la parte no verificada, estas respuestas se consideraran correctas y se considerará verificada la morfología de cada glóbulo rojo. Si llegado a un cierto número de usuarios, en un glóbulo rojo concreto hay discrepancias entre los usuarios que responden a la tarea, el sistema considerará la forma como otra deformación.



**Figura 5. Versión web (izquierda) y versión dispositivo táctil (derecha) de sickleCAPTCHA**

Del sistema se implementaron una versión web y una aplicación para dispositivos táctiles Android, ver Figura 5. El sistema permite los siguientes parámetros de configuración:

- Método combinación:** Número de glóbulos rojos circulares y número de glóbulos rojos elongados. % máximo de solapamiento entre glóbulos rojos (el método exige que los glóbulos rojos estén solapados).
- Respuesta correcta:** Permite dos opciones. La primera permite definir un *threshold* de distancia en píxeles respecto la repuesta del sistema de la parte verificada. La segunda considerará una respuesta como correcta, si coinciden el número de glóbulos rojos indicados por el usuario con los del sistema de la parte verificada, si se han marcado encima glóbulos rojos. Esta opción se permite, porque en el caso de la sickleemia el tratamiento depende del número de glóbulos rojos de forma elongada respecto el total de glóbulos rojos. Por tanto lo importante es el conteo y no la posición.
- Tiempo respuesta:** Tiempo que tiene el usuario para responder a la tarea. Si excede el tiempo, tiene que

realizar otra tarea. El objetivo es dificultar el análisis automático.

- *Visualizaciones*: Cuantas veces se debe presentar a los usuarios una imagen no verificada.
- *Verificación forma*: Entre el total de visualizaciones, el número mínimo de respuestas coincidentes para que la forma de un glóbulo rojo se considere verificada. Si no se alcanza este número mínimo de respuestas, se considera que la forma es otra deformación.

## 4. EXPERIMENTO

El objetivo del experimento era comprobar que el sistema experimental permite analizar de forma correcta la forma de los glóbulos para pacientes con sickleemia (*fiabilidad*), es adecuado para dispositivos táctiles (*adecuación*) y es válido como sistema de control de acceso (*seguridad*).

### 4.1 Participantes

Los participantes fueron 101 estudiantes universitarios (32 mujeres) con unas edades comprendidas entre 18 y 49 años, de los cuales 73 sabían que era una prueba CAPTCHA. Ningún participante padecía discapacidad física que le impidiese utilizar el sistema. Los estudios de 50 participantes no estaban relacionados con informática (25 mujeres).

### 4.2 Base de datos de imágenes

Para validar el sistema experimental usamos la base de datos *erythrocytesIDB* (<http://erythrocytesidb.uib.es/>) [4]. La base de datos está formada por 66 imágenes (500x375 píxeles, 480 dpi), de frotis de sangre periférica, de diez pacientes con sickleemia no crítica. Para la obtención de las imágenes se utilizó un microscopio Leica (100x) y una cámara Kodak EasyShare V803 (Kodak Retinar Aspheric All Glass Lens de 36-108 mm AF 3x optical). El ground-truth de la forma de los glóbulos rojos de la base de datos, fue realizado por un especialista en hematología.

### 4.3 Procedimiento

Con el objetivo de comprobar la *adecuación* del sistema experimental en dispositivos táctiles, lo comparamos con reCAPTCHA, el sistema de CAPTCHA más utilizado en estos momentos [24], ver Figura 6.

El experimento se dividió en dos fases, una primera fase (D) en la que se usaba el sistema experimental en un ordenador de sobremesa, y el usuario interactuaba con el teclado y el ratón. Más una segunda fase (T), donde se usaba el sistema experimental en un dispositivo de interacción táctil.

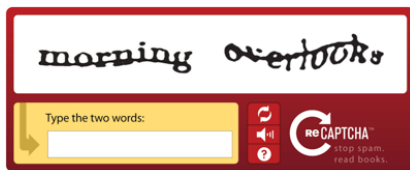


Figura 6. reCAPTCHA

En la primera y segunda fase el usuario tenía que resolver una tarea de sickleCAPTCHA (D1, T1), una de reCAPTCHA (D2, T2), y dos de sickleCAPTCHA (D3, D4, T3, T4).

La *fiabilidad* se comprobó comparando los resultados de las tareas sickleCAPTCHA con el ground-truth de *erythrocytesIDB*.

Para comprobar la *seguridad*, se aplicó un método de segmentación y de análisis automático de la morfología de los glóbulos rojos [4], sobre las agrupaciones de glóbulos rojos verificados de todas las tareas de sickleCAPTCHA que realizaron los participantes.

Para cada participante, siempre se inició el experimento con la fase uno (D). Antes de empezar el experimento se recogía la siguiente información del participante: género, edad, estudios y si conocía que era un CAPTCHA.

### 4.4 Medidas

Para medir la *fiabilidad* comparamos las respuestas de los participantes en las tareas de sickleCAPTCHA, con el ground-truth de la base de datos.

Para medir la *adecuación* en dispositivos táctiles, calculamos el tiempo que necesitaron los participantes para resolver cada tarea, a partir de la primera interacción (click ratón, pulsación tecla, pulsación táctil) hasta que pulsaban el botón de enviar.

Para medir la *seguridad*, comparamos los resultados de aplicar [4] con el ground-truth, para saber en que grado se podían resolver las partes verificadas de las tareas de forma automática.

### 4.5 Implementación, equipo y configuración

La versión web del sistema experimental se implementó utilizando php, html y mysql, sobre un servidor con GNU Linux y Apache. La versión para dispositivos táctiles se implementó utilizando AndroidStudio.

Las pruebas en ordenador de sobremesa se realizaron sobre un Dell DCNE con monitor, ratón y teclado sobre un escritorio virtual de Windows XP con Chromium como navegador. La pruebas con dispositivo táctil se realizaron con un smartphone LG L7 (P700) con Android 4.1.2 como sistema operativo.

Los experimentos se realizaron con la siguiente configuración del sistema experimental:

- *Método combinación*: 5 glóbulos rojos con un solapamiento mínimo del 20%.
- *Respuesta correcta*: En el caso de la parte verificada, un error máximo de 36 píxeles, y la marca del usuario tenía que estar dentro del glóbulo rojo (comprobación por color). En el caso de la parte no verificada, sólo se tuvo en cuenta si coincidía el número de glóbulos rojos y si se había indicado sobre ellos (segmentación por color).
- *Tiempo respuesta*: 10 segundos.
- *Visualizaciones*: Máximo de 7
- *Verificación forma*: 5

El proceso de los datos de las medidas se realizó mediante el paquete R 3.2.0, 16 de abril de 2015, Nueva Zelanda de R Development Core Team.

## 4.6 RESULTADOS

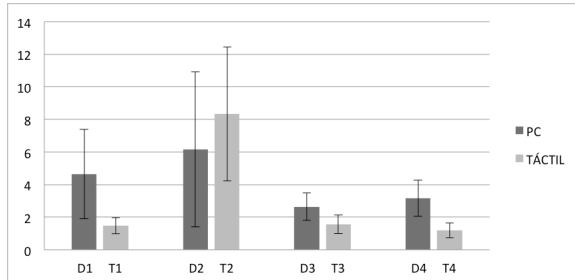
A continuación se muestran los resultados obtenidos durante las pruebas junto con un estudio estadístico de estos.

### 4.6.1 Adecuación

En D1 los participantes tardaron (media  $\pm$  desviación típica)  $4.64s \pm 2.73$ , en D2  $6.17s \pm 4.76$ , en D3  $2.64s \pm 0.84$  y en D4  $3.15s \pm 1.10$ , ver Figura 7.



En la T1 los participantes tardaron  $1.47s \pm 0.48$ , en T2  $8.33s \pm 4.11$ , en T3  $1.56s \pm 0.56$  y en T4  $1.18s \pm 0.46$ , ver Figura 7.



**Figura 7. Tiempo medio y desviación típica en la realización de cada tarea**

Sobre estas medidas aplicamos un test de Student pareado [14]. En nuestro caso la hipótesis nula consistió en afirmar que no había diferencias estadísticamente significativas entre dos grupos de valores emparejados. En la Tabla 1, se resumen las hipótesis nulas y sus resultados. Todas las hipótesis nulas se refutaron al ser en todos los casos  $p < 0.05$ .

**Tabla 1. Resumen de resultados. \*Los tiempos se encuentran en segundos.**

Hipótesis nulas	Diferencia de tiempos medios*	p-value	I.C.
<b>H<sub>a</sub></b> : En PC reCAPTCHA = sickleCAPTCHA?	3.26±4.27	<0.001	0.95
<b>H<sub>b</sub></b> : En dispositivo táctil reCAPTCHA = sickleCAPTCHA?	6.95±3.92	<0.001	0.95
<b>H<sub>c</sub></b> : Un reCAPTCHA en PC = en dispositivo táctil?	-2.16±5.01	<0.001	0.95
<b>H<sub>d</sub></b> : Un sickleCAPTCHA en PC = en dispositivo táctil?	1.53±0.96	<0.001	0.95
<b>H<sub>e</sub></b> : Un reCAPTCHA = sickleCAPTCHA la primera vez en un PC?	1.53±3.72	<0.001	0.95
<b>H<sub>f</sub></b> : Un reCAPTCHA = sickleCAPTCHA la primera vez en un dispositivo táctil?	6.85±3.99	<0.001	0.95
<b>H<sub>g</sub></b> : El primer sickleCAPTCHA = al último sickleCAPTCHA?	1.74±1.69	<0.001	0.95

En (**H<sub>a</sub>**) queríamos saber si utilizando un PC (ratón/teclado) se tardaba de media el mismo tiempo en resolver un reCAPTCHA y un sickleCAPTCHA. En (**H<sub>b</sub>**) queríamos saber si utilizando un dispositivo táctil se tardaba de media el mismo tiempo en resolver un reCAPTCHA y un sickleCAPTCHA. En (**H<sub>c</sub>**) queríamos saber si el tiempo medio de resolución de un reCAPTCHA es el mismo utilizando un PC (ratón/teclado) y un dispositivo táctil. En (**H<sub>d</sub>**) queríamos saber si el tiempo medio de resolución de un sickleCAPTCHA es el mismo utilizando un PC (ratón/teclado) y un dispositivo táctil. En (**H<sub>e</sub>**) queríamos saber si el tiempo medio

para resolver la primera vez un reCAPTCHA y un sickleCAPTCHA es el mismo utilizando un PC (ratón/teclado). En (**H<sub>f</sub>**) queríamos saber si el tiempo medio para resolver la primera vez un reCAPTCHA y un sickleCAPTCHA es el mismo utilizando un dispositivo táctil. En (**H<sub>g</sub>**) queríamos saber si el tiempo medio para resolver el primer sickleCAPTCHA es el mismo que para resolver el último.

Además realizamos un test de poder ad-hoc para examinar si el número de muestras era correcto. Este test permite conocer la probabilidad de que la hipótesis nula sea rechazada siendo la hipótesis alternativa verdadera (cuanto mayor sea la probabilidad de que eso ocurra menor será la probabilidad de que haya falsos negativos) [14]. Calculamos el tamaño mínimo de la muestra necesario. En la Tabla 2 se muestran los resultados.

**Tabla 2. Resultados test de poder ad-hoc**

Hipótesis	Alpha	Poder	Número de muestras
PC	0.01	0.90	90
Dispositivo Táctil	0.01	0.90	9
Aprendizaje	0.01	0.90	29

#### 4.6.2 Fiabilidad

En D1 el 98.02% de los participantes realizó correctamente su tarea. Se obtuvo el mismo resultado en D2. En D3 y D4 el 100% de los participantes acertó su tarea.

En T1, el 100% de los participantes realizó correctamente su tarea. En T2 solo el 11.88% de los participantes realizó correctamente su tarea. La mayoría de los errores fueron debidos a que los usuarios escribían mayúsculas como minúsculas. Si no tenemos en cuenta este detalle, el 87.13% de los usuarios acertó su tarea. En T3 y T4 el 100% de los participantes acertó su tarea.

La base de datos *erythrocytesIDB* (<http://erythrocytesidb.uib.es/>) [4] contiene un total de 87 agrupaciones de glóbulos rojos. Cada agrupación fue analizada por una media de 6.87 usuarios. Cuando 5 usuarios habían analizado de forma correcta los glóbulos rojos verificados, se procedía a analizar si su análisis sobre la agrupación de glóbulos rojos no verificados coincidía. En caso afirmativo este segundo análisis se consideraba correcto y ya no se solicitaba más por parte del sistema.

En la tarea D1 un usuario se equivocó en los glóbulos rojos verificados, por lo tanto se descartaron las respuestas sobre los glóbulos rojos no verificados. En la misma tarea D1, otro usuario se equivocó en los glóbulos no verificados, pero como su respuesta no coincidió con la de los demás usuarios que realizaron una tarea con los mismos glóbulos rojos, su respuesta se descartó.

#### 4.6.3 Seguridad

El método de segmentación y de análisis automático [4], solo clasificó de forma correcta la morfología de 49 (sobre 606, 8.09%) agrupaciones de glóbulos rojos verificados.

Si se tiene en cuenta que el error máximo permitido respecto la respuesta verificada de cada glóbulo rojo era de 36 píxeles, el número de agrupaciones clasificadas de forma correcta se reduce a 1 (0.17%). Como sickleCAPTCHA solicita que se indiquen o el número de glóbulos rojos circulares o el número de glóbulos rojos elongados, en este caso el método automático clasificó de forma

correcta (aplicando el error de 36 píxeles) 4 agrupaciones de glóbulos rojos verificados (0.67%).

## 5. Discusión

En relación a la *Adecuación*, en la Figura 7 se puede observar que el tiempo medio que necesitan los usuarios para resolver un sickleCAPTCHA es menor que para un reCAPTCHA en PC. Además se puede observar que para resolver un sickleCAPTCHA sobre un dispositivo táctil el tiempo medio es menor que sobre un PC. Por otra parte, el tiempo medio para resolver un reCAPTCHA sobre un dispositivo táctil es mayor que sobre un PC. Estos datos nos indican que reCAPTCHA está indicado para PC (donde los usuarios utilizan teclado y ratón), pero para dispositivos táctiles es más adecuado utilizar sickleCAPTCHA. En el caso de sickleCAPTCHA, se puede observar que en D1 los usuarios no conocían el sistema y necesitaban un aprendizaje, por este motivo la desviación típica es mucho mayor que en el resto de medidas donde los usuarios ya habían tenido un primer contacto con el sistema.

El estudio estadístico aplicado sobre los datos (Tabla 1), confirma estadísticamente que sickleCAPTCHA es adecuado para ser utilizado sobre dispositivos táctiles:

- **H<sub>a</sub>**: De media se tarda menos tiempo en resolver un sickleCAPTCHA que un reCAPTCHA. Como el tiempo de resolución de reCAPTCHA es considerado adecuado, podemos afirmar que el tiempo de resolución de un sickleCAPTCHA también lo es.
- **H<sub>b</sub>**: De media se tarda menos tiempo en resolver un sickleCAPTCHA que un reCAPTCHA sobre un dispositivo táctil. Si además tenemos en cuenta que solo un 11.88% de los usuarios resolvieron de forma correcta el reCAPTCHA en dispositivo táctil, podemos afirmar que sickleCAPTCHA es una propuesta fiable para dispositivos táctiles.
- **H<sub>c</sub>**: De media se tarda menos tiempo en resolver un reCAPTCHA sobre un PC que sobre un dispositivo táctil. Este resultado, el resultado anterior (**H<sub>b</sub>**), y el hecho que reCAPTCHA sea un sistema muy extendido sobre PC (ratón/teclado), nos permiten afirmar que reCAPTCHA es más adecuado para PC que para dispositivos táctiles.
- **H<sub>d</sub>**: De media se tarda menos tiempo en resolver un sickleCAPTCHA sobre un dispositivo táctil que sobre un PC, lo que indica que el mecanismo de interacción de sickleCAPTCHA es adecuado para dispositivos táctiles.
- **H<sub>e</sub>, H<sub>f</sub>**: De media se tarda menos tiempo en resolver el primer sickleCAPTCHA que el primer reCAPTCHA tanto sobre un dispositivo táctil como un PC. Estos resultados nos permiten afirmar que sickleCAPTCHA es fácil de entender si lo comparamos con reCAPTCHA.
- **H<sub>g</sub>**: De media se tarda menos tiempo en resolver el último sickleCAPTCHA que el primero, lo que indica que el tiempo para aprender a utilizar sickleCAPTCHA es corto.

El test de poder realizado (Tabla 2), nos permite afirmar que las muestras obtenidas son suficientes para el estudio estadístico realizado.

Los resultados sobre *Fiabilidad*, confirman la hipótesis que el uso de reCAPTCHA en dispositivos táctiles es confuso para los usuarios, ya que la interacción para escribir mayúsculas es más compleja y reafirman los estudios previos en que se concluía que su uso con teclados virtuales tendía a provocar errores [20][21]. Estos resultados, también permiten corroborar que la interacción de sickleCAPTCHA es sencilla para dispositivos táctiles, ya que todas las tareas fueron resueltas de forma precisa y por lo tanto se consiguió analizar de forma correcta la morfología de todos los glóbulos rojos no verificados.

En relación a la *Seguridad*, los resultados indican que con la configuración propuesta en la Sección 4.5, en un 0.67% de los casos fallaría el control de acceso. Si se aplicase una configuración más restrictiva (añadiendo más glóbulos rojos en los agrupamientos verificados y/o reduciendo el error máximo) se podría disminuir los fallos en el control de acceso. Aunque los tiempos de resolución de las tareas podrían aumentar y/o exigir más precisión a los usuarios en sus respuestas. Existen propuestas de CAPTCHA adaptadas a dispositivos táctiles donde el usuario tiene que pulsar sobre las imágenes [3][14], aunque no son sistemas HbC. Por otra parte, propuestas de HbC como faceCAPTCHA [9], donde el usuario tiene que decidir si en una imagen aparece un hombre, una mujer, un no-humano, o no sabe, una respuesta aleatoria permitiría acertar en un 25% de los casos.

## 6. Conclusiones

Se ha presentado un sistema experimental para el control de acceso de humanos en sistemas de la información, que además permite analizar la morfología de los glóbulos rojos en una imagen de una muestra de sangre capturada de pacientes con Sicklemia. Del sistema se implementaron una versión web y una aplicación para dispositivos táctiles.

Los resultados de los experimentos indican que el sistema es adecuado y fiable para dispositivos táctiles, fácil de entender y que el tiempo para aprender a utilizarlo es corto.

Por otra parte, el sistema permite realizar un análisis fiable de la morfología de los glóbulos rojos de pacientes con Sicklemia, como también permite un control de acceso seguro de humanos en sistemas de la información.

Como trabajo futuro se propone estudiar si el sistema es adecuado para el análisis de otro tipo de morfologías y trabajar para mejorar la seguridad del control de acceso.

## 7. ACKNOWLEDGMENTS

This work was partially funded by the Project TIN2012-35427 of the Spanish Government, with FEDER support. The authors also thank the Mathematics and Computer Science Department at the University of the Balearic Islands for its support.

## 8. REFERENCES

- [1] Asakura, T., Hirota, T., Nelson, A. T., Reilly, M. P., & Ohene-Frempong, K. (1996). Percentage of reversibly and irreversibly sickled cells are altered by the method of blood drawing and storage conditions. *Blood Cells, Molecules, and Diseases*, 22(3), 297-306.
- [2] Bacus, J. W. (1983). Quantitative red cell morphology. *Monographs in clinical cytology*, 9, 1-27.
- [3] Elson, J., Douceur, J. R., Howell, J., & Saul, J. (2007, October). Asirra: a CAPTCHA that exploits interest-aligned manual image categorization. In *ACM Conference on Computer and Communications Security* (pp. 366-374).

- [4] Gonzalez-Hidalgo, M., Guerrero-Pena, F. A., Herold-Garcia, S., Jaume-i-Capo, A., & Marrero-Fernandez, P. D. (2015). Red Blood Cell Cluster Separation from Digital Images for use in Sick Cell Disease. *Biomedical and Health Informatics, IEEE Journal of*, 19(4), 1514-1525.
- [5] Good, B. M., & Su, A. I. (2013). Crowdsourcing for bioinformatics. *Bioinformatics*, btt333.
- [6] Horiuchi, K., Ohata, J., Hirano, Y., & Asakura, T. (1990). Morphologic studies of sickle erythrocytes by image analysis. *The Journal of laboratory and clinical medicine*, 115(5), 613-620.
- [7] Internet World Stats. Consultado el 12 Febrero 2015. <http://www.internetworldstats.com>
- [8] Kawrykow, A., Roumanis, G., Kam, A., Kwak, D., Leung, C., Wu, C., ... & Waldispühl, J. (2012). Phylo: a citizen science approach for improving multiple sequence alignment. *PLoS one*, 7(3), e31362.
- [9] Kim, J., Kim, S., Yang, J., Ryu, J. H., & Wohn, K. (2014). FaceCAPTCHA: a CAPTCHA that identifies the gender of face images unrecognized by existing gender classifiers. *Multimedia tools and applications*, 72(2), 1215-1237.
- [10] Luengo-Oroz, M. A., Arranz, A., & Frea, J. (2012). Crowdsourcing malaria parasite quantification: an online game for analyzing images of infected thick blood smears. *Journal of medical Internet research*, 14(6), e167.
- [11] McCoy, A. B., Wright, A., Laxmisan, A., Ottosen, M. J., McCoy, J. A., Butten, D., & Sittig, D. F. (2012). Development and evaluation of a crowdsourcing methodology for knowledge base construction: identifying relationships between clinical problems and medications. *Journal of the American Medical Informatics Association*, 19(5), 713-718.
- [12] Mavandadi, S., Dimitrov, S., Feng, S., Yu, F., Sikora, U., Yaglidere, O., ... & Ozcan, A. (2012). Distributed medical image analysis and diagnosis through crowd-sourced games: a malaria case study. *PLoS one*, 7(5), e37245.
- [13] Nguyen, T. B., Wang, S., Anugu, V., Rose, N., McKenna, M., Petrick, N., ... & Summers, R. M. (2012). Distributed human intelligence for colonic polyp classification in computer-aided detection for CT colonography. *Radiology*, 262(3), 824-833.
- [14] Okada, M., & Matsuyama, S. (2012, January). New captcha for smartphones and tablet pc. In *Consumer Communications and Networking Conference (CCNC), 2012 IEEE* (pp. 34-35). IEEE.
- [15] Organización Mundial de la Salud. Consultado el 2 Septiembre 2014. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs308/es/>
- [16] Pharoah, P. D. (2014). Cell Slider: Using crowd sourcing for the scoring of molecular pathology. *Cancer Research*, 74(19 Supplement), 303-303.
- [17] Quinn, A. J., & Bederson, B. B. (2011, May). Human computation: a survey and taxonomy of a growing field. In *Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems* (pp. 1403-1412). ACM.
- [18] Raddick, M.J., Bracey, G., Gay, P.L., Lintott, C.J., Murray, P., Schawinski, K., Szalay, A.S. & Vandenberg, J. (2010). Galaxy Zoo: Exploring the Motivations of Citizen Science Volunteers. *Astronomy Education Review*. 9 (1).
- [19] Ranard, B. L., Ha, Y. P., Meisel, Z. F., Asch, D. A., Hill, S. S., Becker, L. B., ... & Merchant, R. M. (2014). Crowdsourcing—harnessing the masses to advance health and medicine, a systematic review. *Journal of general internal medicine*, 29(1), 187-203.
- [20] Reynaga, G., & Chiasson, S. (2013, July). The usability of CAPTCHAs on smartphones. In *Security and Cryptography (SECURITY), 2013 International Conference on* (pp. 1-8). IEEE.
- [21] Reynaga, G., Chiasson, S., & van Oorschot, P. C. (2015, February). Exploring the usability of captchas on smartphones: Comparisons and recommendations. In *Proceedings of 2015 Network and Distributed System Security (NDSS) Symposium* (pp. 8-11).
- [22] Schwamb, M. E., Orosz, J. A., Carter, J. A., Welsh, W. F., Fischer, D. A., Torres, G., ... & Kaib, N. A. (2013). Planet hunters: A transiting circumbinary planet in a quadruple star system. *The Astrophysical Journal*, 768(2), 127.
- [23] Von Ahn, L., Blum, M., Hopper, N. J., & Langford, J. (2003). CAPTCHA: Using hard AI problems for security. In *Advances in Cryptology—EUROCRYPT 2003* (pp. 294-311). Springer Berlin Heidelberg.
- [24] Von Ahn, L., Maurer, B., McMillen, C., Abraham, D., & Blum, M. (2008). recaptcha: Human-based character recognition via web security measures. *Science*, 321(5895), 1465-1468.
- [25] Wang, S., Anugu, V., Nguyen, T., Rose, N., Burns, J., McKenna, M., ... & Summers, R. M. (2011, March). Fusion of machine intelligence and human intelligence for colonic polyp detection in CT colonography. In *Biomedical imaging: from nano to macro, 2011 IEEE International Symposium on* (pp. 160-164). IEEE.
- [26] Wheelless, L. L., Robinson, R. D., Lapets, O. P., Cox, C., Rubio, A., Weintraub, M., & Benjamin, L. J. (1994). Classification of red blood cells as normal, sickle, or other abnormal, using a single image analysis feature. *Cytometry*, 17(2), 159-166.

**Columns on Last Page Should Be Made As Close As Possible to Equal Length**