

# Posicionamiento Automático de *Landmarks* Anatómicos en Ojos

Cintas Celia<sup>1</sup>, Delrieux Claudio<sup>2</sup>, Gonzalez-José Rolando<sup>3</sup>

<sup>1</sup>UNPSJB - Facultad de Ingeniería.

<sup>2</sup>UNS - Departamento de Ingeniería Eléctrica y Computadoras. - IIIE - CONICET.

<sup>3</sup>Centro Nacional Patagónico-CONICET.

## Resumen

Se muestra el desarrollo de una aplicación para la detección y adquisición automática de *landmarks* y *semilandmarks* pertenecientes al ojo, en particular los párpados en un espacio bidimensional. En fases posteriores de este trabajo se continuará con otra información fenotípica cuantitativa como el color de ojos y otros rasgos faciales.

Con *Popeye* se plantea mejorar el relevamiento de información fenotípica externa destinada tanto a estudios de Genética Cuantitativa que buscan identificar marcadores genéticos involucrados en la expresión de dichos fenotipos, como a alimentar bases de datos masivas empleadas en protocolos de fenotipado forense por ADN (DNA forensic phenotyping), una técnica que busca predecir valores de determinados fenotipos para un individuo a partir de una muestra de su ADN.

**Palabras Clave:** Procesamiento de Imágenes, Fenotipos, Landmarks, Genética Forense, Antropología Biológica, Inteligencia Artificial.

## 1. Introducción

La Morfometría Geométrica plantea una metodología para el análisis cuantitativo de la forma de los objetos, específicamente de los organismos biológicos en general [Zelditch 2004], [Mitteroecker 2009] y en humanos en particular [Slice 2005]. Por dicha razón sus aplicaciones principales se encuentran en el análisis del registro fósil, el estudio de los cambios alométricos [Linde 2009], ontogenéticos [Vidarsdottir 2002], heterocrónicos [Lieberman1 2007], la biomecánica [Lieberman 2004], [Paschetta 2010], la evaluación de alteraciones en el desarrollo [Klingenberg 2002], los estudios filogenéticos [Gonzalez-Jose 2008a], [Perez 2011], y las comparaciones de variación intra e interpoblacional en el contexto histórico [Gonzalez-Jose 2008a], [Perez 2011], por citar algunos ejemplos.

La obtención de coordenadas de *landmark* en 2D y 3D, sin embargo, está en

un estado más incipiente, por las dificultades técnicas, económicas y operativas que se presentan: debe contarse con dispositivos caros, o no-portátiles, capaces de tomar puntos en 3D sobre los objetos bajo estudio, y el proceso de *landmarking* (emplazamiento de puntos anatómicos sobre imágenes en 2D o 3D del organismo/estructura bajo estudio) suele ser hecho “a mano” por operadores entrenados. Una de las posibles soluciones a este problema radica en obtener coordenadas de *landmarks* 3D a partir del uso de varias tomas fotográficas con diferentes ángulos que, mediante un ajuste fotogramétrico, permitan derivar las ubicaciones en 3D de *landmarks* redundantes (fiduciaros) observados en más de una toma 2D. Dicho procedimiento es laborioso, requiere técnicas fotogramétricas complejas, y está sujeto a errores intra observador e inter toma fotográfica.

Como ya se mencionó, estas técnicas no están implementadas para emplazar *landmarks* sobre la estructura de interés, por lo que su uso en principio no es adecuado para la morfometría geométrica de organismos biológicos. Sin embargo, es posible extender la teoría y el uso de estos métodos para obtener un modelo que se ajuste a las exigencias metodológicas de la morfometría geométrica. Por un lado, se pueden adaptar y refinar los métodos de detección automática de *landmarks*, y por otro, definir un modelo de Splines que tome a los *landmarks* como puntos interpolantes [Gunz 2005], [He 2004].

De esta manera, es posible realizar una reconstrucción 3D completa del organismo a partir de los *landmarks* (puntuales) y característicos tensoriales asociados a dichos puntos. Finalmente, los *landmarks* de cada organismo pueden sumergirse dentro de un espacio auxiliar utilizando Free Form Deformation, con lo cual sería posible parametrizar cada tupla de *landmarks* como una instancia de un mismo objeto genérico bajo diferentes deformaciones. [Hirota 2004]

En este trabajo presentamos una aplicación para la detección y adquisición automática de *landmarks* pertenecientes al ojo, en particular los párpados en un espacio bidimensional, como un paso previo necesario al desarrollo en 3D citado más arriba, y como un desarrollo tendiente a mejorar el relevamiento de información fenotípica externa para su uso en Genética Cuantitativa y Forense.

## 2. Fundamentos Básicos para Obtención de *Landmarks* Anatómicos

La Morfometría Geométrica es un conjunto de métodos destinados a la adquisición, procesamiento y análisis de formas de manera tal que, durante el proceso, siempre se preserve toda la información geométrica que acontece durante los cambios de tamaño y de forma. Definida como la unión entre la biología y la geometría, se ha convertido en una herramienta fundamental para el estudio de estructuras fenotípicas.

Su principal innovación teórica radica en un cambio rotundo en la aproximación al tamaño y la forma de las estructuras bajo estudio. En lugar de enfocarse en el análisis multivariante de un conjunto de medidas lineales entre puntos morfométricos, la Morfometría Geométrica propone estudiar los cambios en el

tamaño y la forma a partir del desplazamiento en el plano (2D) o en el espacio (3D) de un conjunto de puntos morfométricos o *landmarks*. La relación espacial en dos o tres dimensiones de estos *landmarks* siempre se conserva a lo largo de todo el análisis, lo que permite reconstruir con tanta precisión como se desee la forma y el tamaño del espécimen estudiado [Zelditch 2004].

Desde comienzos de los años '90 se ha desarrollado un conjunto de métodos analíticos y gráficos que permiten observar estos cambios espaciales desde una óptica estadística, un paso fundamental en el desarrollo de un método biológico [Zelditch 2004].

Para entender los fundamentos de la Morfometría Geométrica es necesario tener en cuenta conceptos tales como: *landmarks*, contornos/outlines y forma y tamaño. Al estar enfocados en las propiedades geométricas podemos dejar de lado propiedades tales como el color y la textura. Los métodos de Morfometría Geométrica cuantifican la forma (shape) de cada espécimen de acuerdo a la ubicación en el espacio de un conjunto de landmarks o puntos que son homólogos entre individuos. Luego, el tamaño y la forma son separados a través de la superposición de Procrustes<sup>I</sup> de los *landmarks*, que traslada dichos puntos a un origen de coordenadas común, los escala a un tamaño en común, y los rota hasta minimizar la suma de cuadrados de las distancias entre sí. Así, la superposición de Procrustes permite cuantificar la forma como una desviación multidimensional de los *landmarks* de un espécimen de una configuración de referencia (usualmente, el promedio de todas las configuraciones de la muestra).

Siendo posible definir varias clases de variables a utilizar, será necesario seleccionar algunas dependiendo de las necesidades a la hora de especificar los puntos a investigar. Específicamente para nuestro desarrollo utilizamos: distancias, contornos y *landmarks*.

### Landmarks

Un *landmark* es un punto en un espacio 2D o 3D que corresponde a la posición de un rasgo en particular en un objeto de interés. [Bookstein 1991] Los *landmarks* ideales cumplen los siguientes requisitos:

1. Proveen una adecuada cobertura morfológica.
2. Pueden ser identificados repetidamente y con precisión.
3. Deben ubicarse en el mismo plano.

Podemos clasificar a los *landmarks* en tres clases:

1. **Tipo I**, son puntos cuya supuesta homología de un individuo a otro es respaldada por una significación biológica.
2. **Tipo II**, son puntos matemáticos cuya supuesta homología de un individuo a otro es respaldada únicamente por la geometría y no por evidencia anatómica.

---

<sup>I</sup> El análisis de Procrustes consiste en aplicar una transformación euclidiana que conserva la forma del objeto, para eliminar las diferencias de traslación, rotación y escala entre ellas y poder así llevarlas a un punto estándar para poder ser trabajadas. [Goodall 1991]

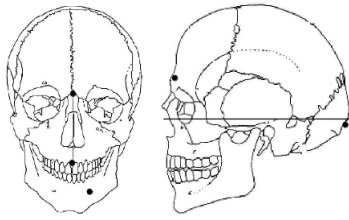


Figura 1: *Landmarks* de tipo I, imagen obtenida de [Richtsmeier 2002]

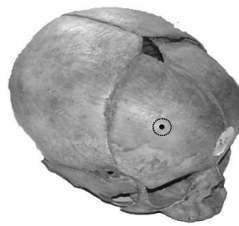


Figura 2: *Landmarks* de tipo II

3. **Tipo III o semilandmarks**, se refieren a puntos localizados en cualquier lugar a lo largo de un contorno o entre dos *landmarks* de tipo I o II.



Figura 3: *Landmarks* de tipo III

### Outlines

Cuando trabajamos con contornos (outlines) la forma se captura por medio de las coordenadas de la secuencia de puntos que definen el contorno. Estos contornos pueden ser cerrados o abiertos, es decir que el comienzo y el fin de un contorno se encuentran o no. Para obtener el contorno de un objeto tenemos varios métodos:

1. Análisis de Fourier, Se analiza la contribución de los coeficientes de una función trigonométrica que reproduzca lo más exactamente posible una

determinada curva. [Gonzalez 2011].

2. Curvas polinomiales, una ecuación polinómica de grado  $n$  ajustará a  $n+1$  restricciones, estas restricciones pueden ser puntos, ángulos o una curvatura.
3. Análisis eigenshape.

### 3. *Popeye*: la aplicación

*Popeye* es parte de un conglomerado de módulos para la toma de *landmarks* y *semilandmarks* en forma automatizada de distintos fenotipos faciales. Actualmente sólo nos encontramos trabajando sobre el parpado y ojos. Otros fenotipos faciales serán contornos internos del pabellón auditivo, la forma de la nariz en vistas frontal y lateral, etc. Las imágenes que *Popeye* recibe cuentan con un cierto protocolo a la hora de la obtención para asegurar que para éste y futuros módulos la información que deseamos obtener esté disponible y estandarizada. A continuación mostramos el pipe de procesamiento implementado en *Popeye* que puede observarse en la figura 4. Los pasos brevemente explicados, son los siguientes:

**Detección de Rostros** Para llevar a cabo la detección se ha utilizado el algoritmo de [Viola & Jones 2003], que dispone *OpenCV*. En este caso utilizamos el clasificador haarcascade realizado por Rainer Lienhart (Intel) que nos permite encontrar caras que están en la imagen de manera frontal.

**División de Rostro** Sólo preservamos la parte superior del rostro para reducir de forma preliminar falsos positivos a la hora de buscar ojos.

**Detección de Ojos** En esta detección se ha utilizado nuevamente el algoritmo de [Viola & Jones 2003]. En este caso utilizamos el clasificador haarcascade realizado por Shameem Hameed (Intel) que nos permite encontrar ojos con un muy buen nivel de acierto.

**Validación** En esta fase del proceso nos aseguramos que lo encontrado sea un ojo, aunque el algoritmo utilizado para encontrarlo y la toma de sólo una parte del rostro nos aseguran disminuir casi en su totalidad los falsos resultados.

**Binarización** La binarización se maneja con un umbral adaptativo ya que dependiendo del color de piel (cerca al ojo) o existencia de ojeras debe incrementarse o reducirse el  $H$ .

**Clausura Morfológica** Realizamos esta operación morfológica para eliminar detalles restantes innecesarios.

**Marcado de *Landmarks* Anatómicos** Marcamos en la imagen y almacenamos los puntos en donde encontramos estos *landmarks*; estos *landmarks* en cuestión son *exocantion* (h0), *endocantion* (h1), *palpebral superior* (v0) y *palpebral inferior* (v1) los cuales pueden observarse en la parte inferior de la figura 4.

**Obtención de párpados** Y para el almacenamiento del párpado se utiliza un chain code<sup>II</sup>.

Tanto la detección de rostros como de ojos se encarga de encontrar regiones rectangulares en la imagen de entrada que tienen una gran probabilidad de contener los objetos (caras y ojos) para los que el clasificador ha sido entrenado, devolviendo estas regiones como una secuencia de rectángulos a su vez escanea la imagen varias veces en diferentes escalas aplicando algoritmos de heurística para reducir el número de regiones analizadas. Toda la estructura de

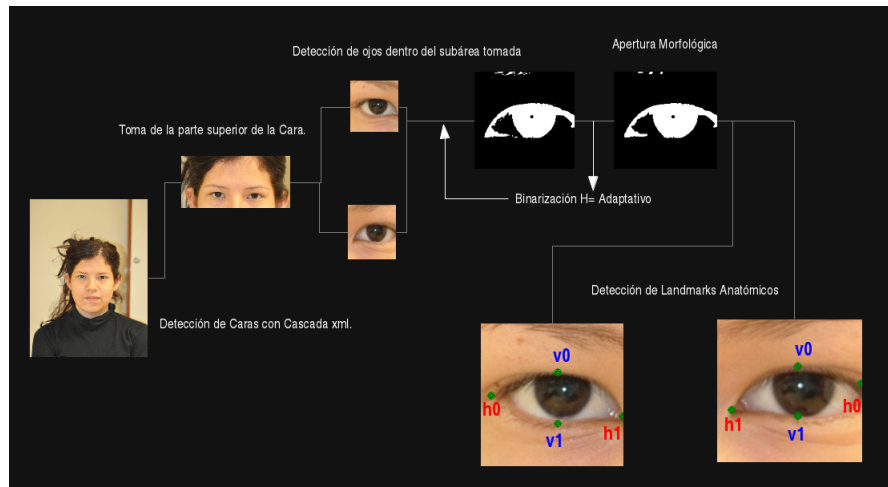


Figura 4: Pipe de PDI implementado en *Popeye*.

la implementación respeta la forma de un agente inteligente, aislando la lógica del elemento a evaluar, por lo que podemos usar la misma estructura para los próximos *landmarks* sólo cambiando el objeto a identificar.

#### 4. Uso de *Popeye*

Los valores resultado de la extracción de *landmarks* con *Popeye*, como se puede ver su GUI en la figura 5, ayudarán a acelerar el obtención de estadísticas de estos puntos en muestras grandes de personas, dado que este trabajo suele hacerse de forma manual. Al ser configurable la forma de salida de los *landmarks* en un archivo persistente puede ser utilizado para diferentes tipos de estadísticas, que pueden ser dependientes de su morfología, simetría, etc.

<sup>II</sup>Este método de codificación es particularmente efectivo para imágenes consistentes en un número razonablemente alto de componentes conectados. Ejemplos de chain codes populares son: Freeman Chain Code of Eight Directions1 (FCCE), Vertex Chain Code2 (VCC), Three OrThogonal symbol chain code3 (3OT) and Directional Freeman Chain Code of Eight Directions4 (DFCCE).

La utilización de *PopEye* está pensada principalmente para la investigación *antropológica biológica* pero puede derivarse en campos como es el forense o determinación de expresiones faciales (junto con otros *landmarks* faciales).

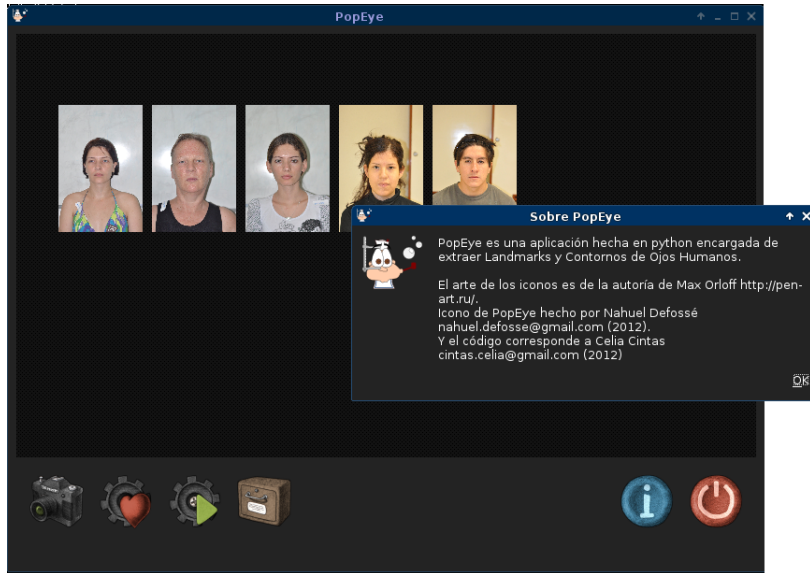


Figura 5: GUI de *PopEye*.

## 5. Resultados y Trabajo Futuro

El trabajo desarrollado hasta el momento no sólo ha logrado una propuesta de automatización de *landmarks* para recolectar datos de imágenes sin la necesidad de la constante supervisión por parte del individuo. Aunque todavía falta abstraer muchos otros componentes, nos encontramos definiendo un esquema de desarrollo y múltiples herramientas reutilizables para la ubicación de distintos *landmarks*.

Las pruebas preliminares fueron realizadas con un conjunto de 30 imágenes y como parte de los resultados de la aplicación se muestra la figura 6.

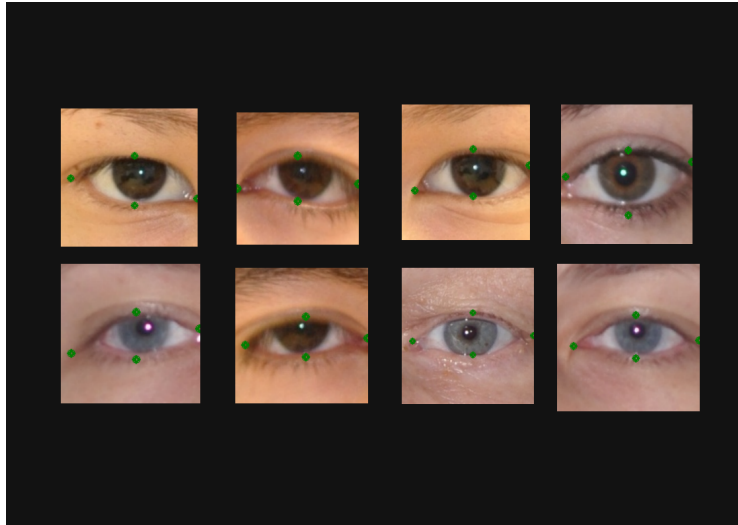


Figura 6: Resultados de *Popeye*.

Como se puede observar en estas muestras todavía se está trabajando en la inteligencia del adaptador de umbrales que permitirá obtener un error mucho menor que el actual, para esto se está refactorizando el umbral adaptativo implementando máquinas de soporte vectorial para clasificar colores como puede verse en [Quinlan 2004].

Las corridas realizadas tienen en promedio 26,77 segundos de duración, por lo que se tienen en cuenta técnicas para reducir estos tiempos en la próxima versión. Estos valores no son definitivos ya que pretendemos que *Popeye* trabaje con muestras de alrededor de las 2000 o 3000 imágenes por procesamiento en lotes o en forma interactiva si la cantidad es menor.



## Referencias

- [Bookstein 1991] Bookstein FL. 1991. Morphometric tools for landmark data. Geometry and biology. New York: Cambridge University Press.
- [Gonzalez-Jose 2008a] Cladistic analysis of continuous modularized traits provides phylogenetic signals in Homo evolution. R. González-José and I. Escapa and W.A. Neves and R. Cuneo and H.M. Pucciarelli, 2008.
- [González BE] González BE Borrell LN, Choudhry S, Naqvi M, Tsai HJ, Rodriguez-Santana JR, Chapela R, Rogers SD, Mei R, Rodriguez-Cintron W, Arena JF, Kittles R, Perez-Stable EJ, Ziv E, y Risch N. 2005. Latino populations: a unique opportunity for the study of race, genetics, and social environment in epidemiological research. *Am J Public Health* 95:2161-2168.
- [Gonzalez 2011] Introducción a la Morfometría Geométrica (Apuntes de curso), Silvana Van der Molen, Rolando González.
- [Goodall 1991] Goodall CR. 1991. Procrustes methods in the statistical analysis of shape (with discussion and rejoinder). *J Roy Stat Soc Ser B* 53:285-339.
- [Gunz 2005] Statistical and geometric reconstruction of hominid crania. Reconstructing Australopithecine ontogeny. P. Gunz, 2005.
- [He 2004] Surface Reconstruction with Triangular B-splines. Ying He and Hong Qin. 2004.
- [Hirota 2004] Fast Volume-Preserving Free Form Deformation Using Multi-Level Optimization. Gentaro Hirota and Renee Maheshwari and Ming C. Lin, 2004.
- [Klingenberg 2002] Morphometrics and the role of the phenotype in studies of the evolution of developmental mechanisms. C.P. Klingenberg, 2002.
- [Lieberman1 2007] A geometric morphometric analysis of heterochrony in the cranium of chimpanzees and bonobos. D.E. Lieberman and J. Carlo and D.L Ponce and C.P. Zollikofer, 2007.
- [Lieberman 2004] Effects of food processing on masticatory strain and craniofacial growth in a retrognathic face. D.E. Lieberman and G.E Krovitz and F.W. Yates and M. Devlin and M. St Claire, 2004.
- [Linde 2009] Inferring the nature of allometry from geometric data. K. Van Der Linde and D. Houle, 2009.
- [Mitteroecker 2009] Advances in Geometric Morphometrics. P. Mitteroecker and P. Gunz, 2009.
- [Paschetta 2010] The influence of masticatory loading on craniofacial morphology: A test case across technological transitions in the Ohio valley. C. Paschetta, 2010.
- [Perez 2011] Patterns of cranial shape diversification during the phylogenetic branching process of New World monkeys (Primates: Platyrrhini). S.I. Pérez and J. KLACZKO and G. ROCATTI and S. F. DOS REIS, 2011.
- [Quinlan 2004] Michael J. Quinlan, Stephan K. Chalup and Richard H. MiddletonSchool of Electrical Engineering & Computer Science The University of Newcastle, Callaghan 2308, Australia, 2004.
- [Richtsmeier 2002] Richtsmeier JT, Burke Deleon V, Lele SR. 2002. The promise of Geometric Morphometrics. *Yearbook of Physical Anthropology* 45, 63-91.
- [Shriver 2009] Klimentidis YC, Miller GF, y Shriver MD. 2009. Genetic admixture, self-reported ethnicity, self-estimated admixture, and skin pigmentation among Hispanics and Native Americans. *Am J Phys Anthropol* 138:375-383.

- [Slice 2005] Modern Morphometrics in Physical Anthropology. E. Dennis Slice, 2005.
- [Vidarsdottir 2002] A geometric morphometric study of regional differences in the ontogeny of the modern human facial skeleton. U.S Vidarsdóttir and P. O'Higgins and C. Stringer, 2002.
- [Viola & Jones 2003] Fast Multi-view Face Detection, Agosto 2003.
- [Yvinec 2010] Mesh Generation through Delaunay Refinement 3D Meshes. Mariette Yvinec, 2010.
- [Zelditch 2004] Geometric morphometric for biologists. M.L Zelditch and D.L Swiderski, 2004.