

# Morfometría: las ventajas de ver de cerca

La *morfometría geométrica* es un método eficaz, exacto y económico, al servicio de las investigaciones sobre enfermedades tropicales, que promete ser útil en el control de plagas. Sus costos son bajos, en comparación con la biología molecular, pues solo necesita software de uso libre, tal vez una cámara y un estereoscopio. Crónica de una visita al laboratorio del profesor Nicolás Jaramillo

Frente al escritorio hay una repisa de tres niveles, y en el último hay alineados varios baúles de madera, aplanados como libros, y con pequeños cerrojos. En algunos lomos se pueden leer las etiquetas: forman toda la colección de muestras de insectos que Nicolás Jaramillo, del grupo Biología y Control de Enfermedades Infecciosas, ha estudiado en los últimos años. Adentro de las cajas hay celdillas colonizadas por plaquitas de vidrio. Con ayuda de la luz, se ven las alas pequeñísimas petrificadas entre las dos películas transparentes inmovilizadas con pegamento.

Aparentemente es una misma ala repetida decenas de veces, pero no. Cada ala es única y perteneció

a un insecto único: de formas y texturas coherentes con su grupo, con su dieta, con el clima de los entornos donde vivía, con las características heredadas de una línea de sucesión inimaginablemente prolongada en el tiempo. Un animal irrepetible. Lo que hace el profesor Jaramillo es medir las particularidades de esa ala —algunas veces de otras partes del cuerpo, por ejemplo la cabeza, pero podría ser cualquier otra extremidad— y relacionarlas

Fotografía al microscopio de ala de *Anopheles albimanus*, uno de los principales vectores de malaria en Colombia.



precisamente con esas condiciones de vida para resolver preguntas: ¿sí es la especie que se creía?, ¿vuela bien, alto, lejos?, ¿se le están transformando las alas?, y si ya no comiera lo que come, ¿seguiría siendo igual?, ¿qué pasaría si se convierte en una plaga, si ya lo es?, ¿qué riesgo existe si esas alas potentes pertenecen al mosquito que contagia, digamos, la malaria o el dengue?

El profesor escanea las placas que contienen las alas. A veces opta por tomarles fotos a las muestras, utilizando una cámara digital convencional e interponiendo un estereoscopio para ver la imagen con más nitidez. Luego las lleva al programa con el cual trabaja y marca los puntos del contorno, que al ser unidos hacen que aparezca una figura geométrica medianamente similar a la forma original. Las alas están compuestas por una visible membrana apergaminada, pero también por nervaduras, pe-lillos y escamas que pasan desapercibidos al ojo humano. Los detalles se obvian y solo se tienen en cuenta los límites de la forma y las terminaciones más sobresalientes dentro de ella. El investigador puede marcar cuantos puntos considere necesarios y, dependiendo de eso, el polígono será tanto más parecido a la fotografía.

El método se llama *morfometría geométrica*. No solo permite medir las proporciones de ciertos órganos —como hace la morfometría tradicional— sino que conserva la información espacial de las mediciones. Es decir, con los números que obtiene y después de eliminar la fotografía que da pie al mapa de marcas, un ilustrador podría reproducir la figura original, porque tendría las coordenadas de cada punto, su posición con respecto a los otros. También podría proporcionársele al dibujante la precisa intensidad del color, algo que la morfometría a veces contempla y resuelve con exactitud, valiéndose de medidores especializados.

El profesor Jaramillo estudia los individuos en relación a uno hipotético surgido del promedio. Calcula

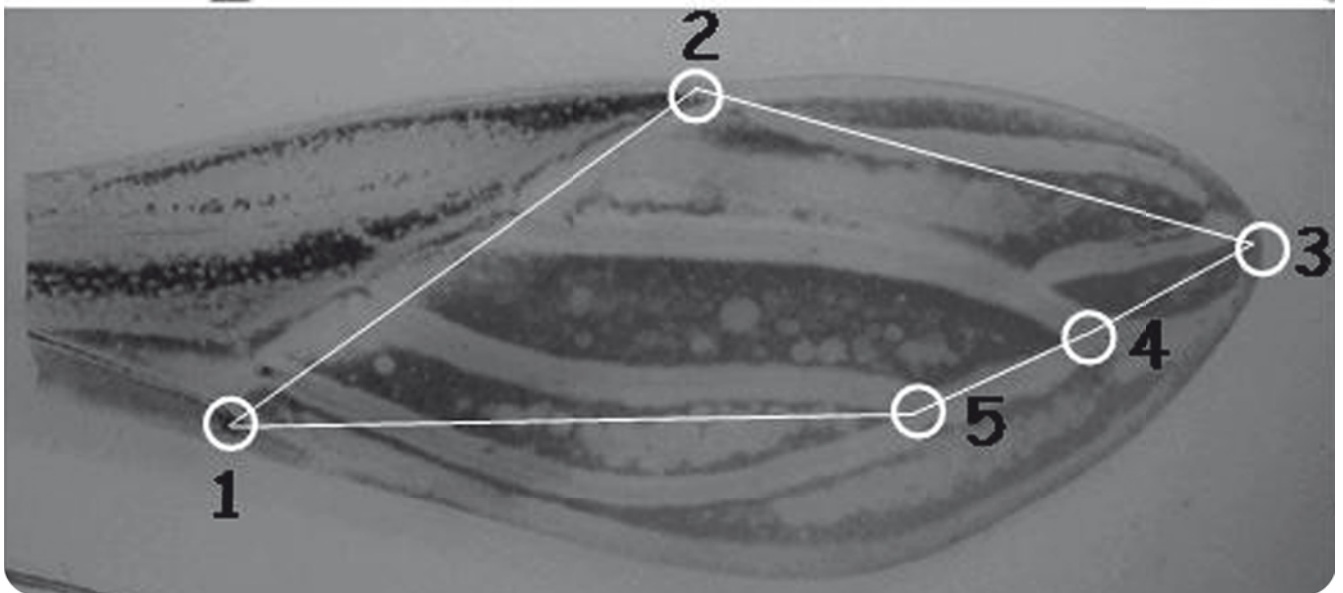
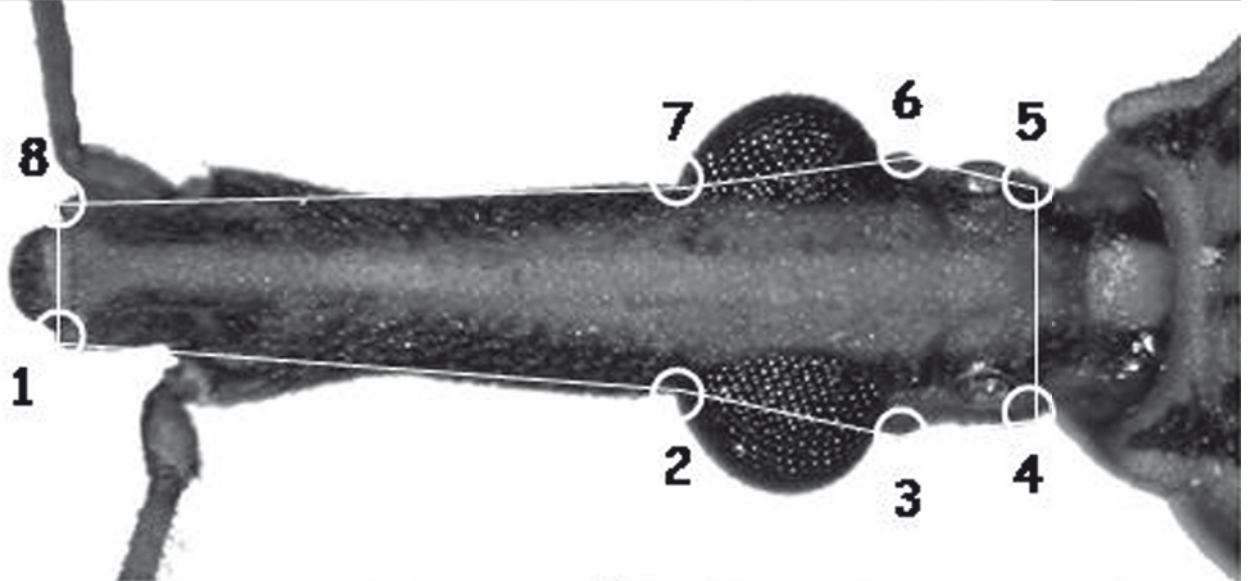
sus diferencias con respecto a ese modelo y luego las analiza con técnicas estadísticas. Lo que hace es ubicar en un plano con cuadrícula —diseñado según la media de todas las figuras procesadas— la parte seleccionada del insecto, lo que provoca que los cuadros se deformen porque cada muestra no coincide exactamente con las medidas del individuo promedio. Este procedimiento corrige los errores de captura de la imagen, las distorsiones que surgen de la escala y el ángulo de la foto, y permite que al final solo quede la información de la conformación morfológica. Esta después se compara con la del resto de muestras y con variables genéticas y ambientales.

Para hacerse una idea de esa parte del proceso también sirve pensar en dos personas con características dispares: una más alta que la otra, una de ellas más ancha o con brazos más cortos. A ambas se las pretende acomodar en un mismo molde esculpido a partir de las proporciones promedio que resultan de medirlas. Cuando eso ocurra, necesariamente alguna parte de sus cuerpos se deformará para caber en él. Esta técnica se conoce como análisis generalizado de Procusto, en alusión al personaje de la mitología griega que asesinaba a los viajeros que se alojaban en su casa para que cupieran en una cama que, mentía, se amoldaba a su ocupante. El sádico partía los miembros de quienes sobresalían del catre o aplastaba a aquellos a quienes les sobraba espacio.

### **Morfometría contra las enfermedades tropicales**

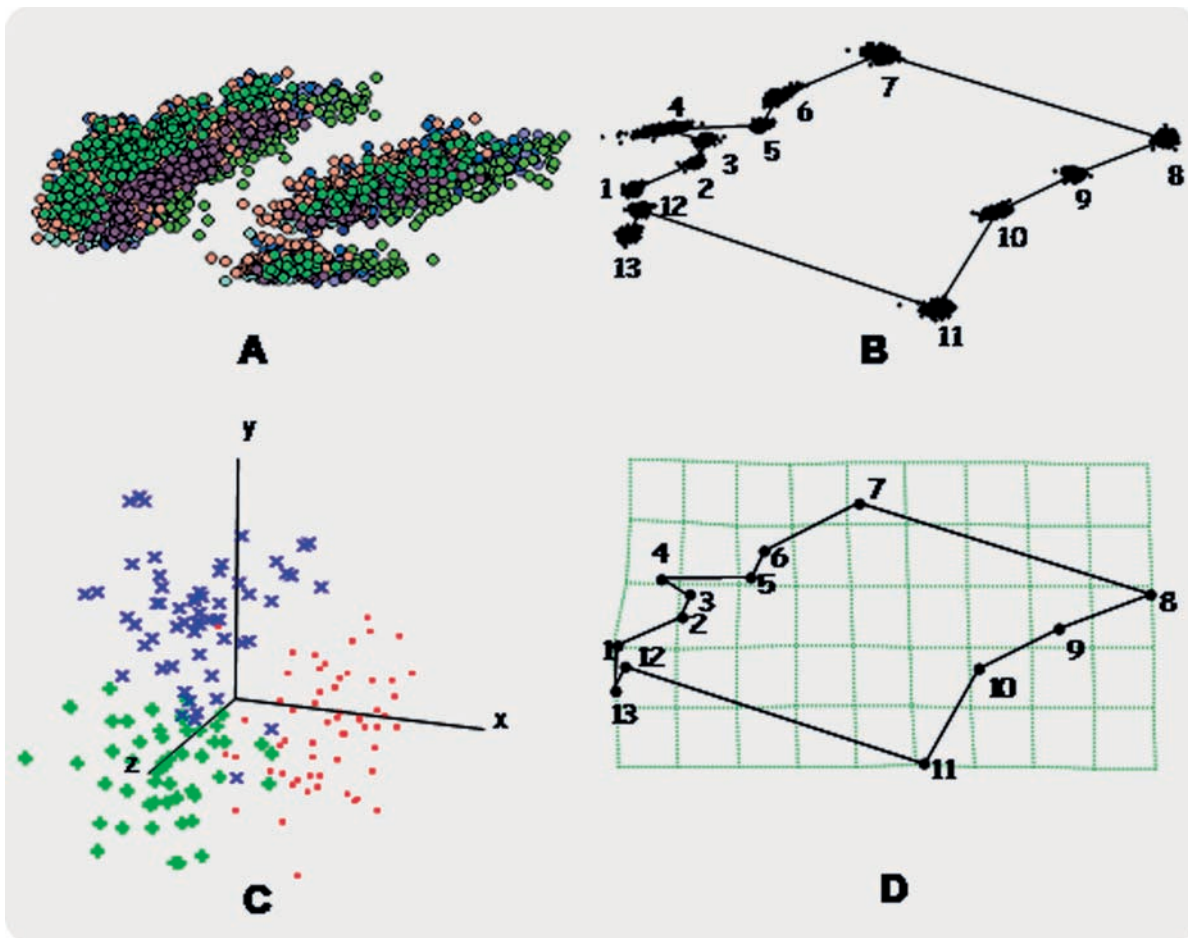
Mirándolos tan de cerca, los insectos revelan una gran complejidad. Su cuerpo es la prueba de la confección natural de órganos muy funcionales y diferenciados —como ocurre en todos los seres vivos—, y cuyo conocimiento es muy útil para la ciencia. La razón más positiva se refiere a la biodiversidad del planeta. Entender, por ejemplo, por qué cierta forma en las alas conlleva determinada anatomía en el vuelo, o dependiendo de su dieta,

Se seleccionan puntos que sean fácilmente reconocibles en todas las estructuras biológicas a estudiar; luego estos puntos se digitalizan mediante la ayuda de un programa computacional y se convierten en coordenadas cartesianas en un plano bidimensional x,y. Las coordenadas cartesianas representan las configuraciones geométricas de las estructuras biológicas (en la figura las vemos representadas como líneas que unen los puntos, formando polígonos). Las coordenadas se utilizarán como matrices de variables crudas para ser transformadas en variables de tamaño y conformación, libres de la variación no biológica que corresponde a la escala, la orientación y la posición en que fueron tomadas las imágenes.





Secuencia general del análisis generalizado de Procrustes (AGP). A: coordenadas crudas, las cuales contienen la información biológica; pero que no es analizable dado que esta mezclada con la información no biológica de la escala, la orientación y la posición en que fueron tomadas las imágenes. B: las matrices de coordenadas crudas se procesan mediante un algoritmo algebraico llamado análisis generalizado de Procrustes, el cual permite superponer de manera matemáticamente óptima todas las configuraciones individuales y calcular las distancias entre los puntos homólogos de cada configuración geométrica. Tales distancias se utilizan para computar matrices de conformación morfológica; al inicio del análisis se computan las matrices de tamaño corporal. C: las matrices de tamaño y conformación se pueden utilizar para analizar los grupos de individuos mediante estadísticas univariadas y multivariadas. D: la información espacial de la conformación morfológica permanece en las matrices obtenidas después del AGP y pueden ser visualizadas individualmente como deformaciones relativas a una conformación promedio.



CLIC (Collection of Landmarks for Identification and Characterization) es una plataforma creada por el profesor belga Jean-Pierre Dujardin, donde los investigadores suben las imágenes y los artículos resultados de sus proyectos con morfometría. Cualquier persona en el mundo puede descargarlos, usar las imágenes y repetir los análisis (<http://www.mpl.ird.fr/morphometrics/clic>). Como esta, hay varias disponibles en Internet. El profesor Jaramillo también utiliza el software libre llamado R para los análisis estadísticos (<http://www.r-project.org/>).

cómo se organizan las bocas y las patas. Hay algo de placer estético también. Lo que puede ser llamado bello se encuentra en hallazgos de simetría que revelan cuán exitoso es el organismo, sus probabilidades de sobrevivir y reproducirse en seres cada vez más aptos.

En el caso de los insectos que investiga el profesor Jaramillo, los motivos que los convierten en objetos de estudio usualmente tienen que ver con que la especie se ha desbordado en plaga. El conocimiento que se obtiene es empleado para diseñar estrategias de control más efectivas y evitar, si se trata de vectores de enfermedades como las llamadas tropicales, que se sigan dispersando en el espacio, lo que aumentaría el riesgo de contagio para las personas. Acorde con las preguntas que hacen nacer el estudio, el profesor selecciona las poblaciones, los puntos por considerar y mide las variables ambientales relacionadas que, junto a los análisis estadísticos, ayudarán a encontrar las respuestas. El objetivo más frecuente es querer descubrir la especie de un insecto para estar seguros de si ese es el vector de cierta enfermedad. Es entonces cuando se deben medir y catalogar en grupos decenas de alas de mosquitos. La efectividad de la clasificación llega a ser del 90%. Otro de los resultados de este trabajo es que al cruzar la designación por especies con los lugares de captura, se puede saber con exactitud dónde hay que hacer el control.

Con este método el profesor también puede investigar cuál es el grado de resistencia de una población a los insecticidas. Fue lo que hizo con un grupo de mosquitos, *Aedes aegypti* —vector del dengue y de la fiebre amarilla—, traídos de dos ciudades diferentes: Cúcuta y Quibdó. Al hacerles la morfometría vio que aquellos que tenían características más similares eran los que habían mostrado mayor resistencia al insecticida; en cambio, los que se alejaban de la media eran los vulnerables. Con esta información, buscaron la historia de las fumigaciones en los lugares de procedencia y se enteraron de que los más susceptibles al insecticida venían de sitios donde se seguían protocolos para evitar generar la resistencia, y los más fuertes de donde no, lo que los había vuelto inmunes a la medida de exterminio.

En otra oportunidad, con su equipo escogió un grupo de mosquitos para inducirles la resistencia a un insecticida determinado y lo comparó con otro que no había sido seleccionado. Todos tenían ancestros comunes. Encontró, de nuevo, que los resistentes

tenían una morfología muy similar entre sí y diferente de los no seleccionados. De esta investigación surgieron otras conclusiones determinantes: en ausencia de insecticidas, los de mayor resistencia tenían menos posibilidades de sobrevivir. Observaron que desarrollar la “inmunidad” los había vuelto más pequeños. Pero si en el ambiente había insecticidas, morían los más susceptibles, que resultaron ser los más grandes y los que ponían más huevos.

“Cuando empiezas una campaña con insecticidas que no ha sido bien planeada, ni está basada en el conocimiento de la biología y ecología de los insectos, estos pueden generar resistencia y expandirse mucho”, explica el profesor Jaramillo, “por eso es muy importante conocer la evolución de los individuos que estás controlando. La morfometría ayuda a mirar las variaciones morfológicas que se están dando en esas poblaciones para poder dar respuestas a cómo está cambiando el organismo con respecto al cambio del ambiente”.

La morfometría se propone, además de cuantificar las singularidades de una especie, investigar el origen de esa variación y qué factores pueden alterarla; también busca apoyar la ubicación de los individuos en la taxonomía ya establecida y contribuir a los estudios sobre el desarrollo evolutivo de los animales. Sus costos, en comparación con la biología molecular, son más bajos. Mientras que la morfometría solo necesita de un computador y un escáner, software de uso libre, quizá una cámara y un estereoscopio, la biología molecular necesita un laboratorio e insumos para lograr analizar las proteínas y el ADN que toma del animal. La morfometría solo emplea la observación y métodos matemáticos que suelen conducir a las mismas respuestas.

Esta relativa independencia, su suficiencia como método al depender casi exclusivamente de las capacidades del investigador, convencieron al profesor de doctorarse en esta área. Aunque ahora la tendencia metodológica es otra, la morfometría le resulta más estimulante:

“En la maestría hacía biología molecular, pero me la pasaba que la compra de los insumos se demoraba, que el reactivo llegaba malo, que se había dañado el equipo”, recuerda. “Un día me dije: debe haber algo más interesante y en lo que tenga que emplear más la cabeza. Y esto me pareció más entretenido, un mayor reto intelectual”.