

## Estimación de la altura de vuelo en aves

Elder Ruiz-Velásquez\*  & Antonio Santos-Moreno<sup>1</sup> 

## Resumen

Conocer las especies y la altura a la que vuelan las aves es crucial para establecer medidas que minimicen la probabilidad de colisiones con aeronaves o aerogeneradores. Existen muchos métodos sofisticados para determinar la altura de vuelo de las aves, aunque no todos son accesibles para cualquier persona. Dos pasos basados en principios trigonométricos pueden ser utilizados para estimar la altura de vuelo. La validez de los resultados depende de los supuestos del método. A pesar de que los principios trigonométricos son robustos, los sesgos de los observadores al tomar datos pueden afectar la precisión. Sin embargo, esta herramienta es mucho más eficaz, realista y económica en comparación con otros métodos.

**Palabras clave:** estimación, altura de vuelo, funciones trigonométricas, aves.

## Abstract

Knowing the species and the altitude at which birds fly is crucial for establishing measures to minimize the probability of collisions with aircraft or wind turbines. There are many sophisticated methods to determine the flight altitude of birds, although not all are accessible to everyone. Two steps based on trigonometric principles can be used to estimate flight altitude. The validity of the results depends on the assumptions of the method. Despite the robustness of trigonometric principles, observer biases in data collection can affect accuracy. However, this tool is much more effective, realistic, and economical compared to other methods.

**Key words:** estimate, flight height, trigonometric functions, birds.

Recibido: 01 de abril de 2024.

Aceptado: 09 de junio de 2024.

Además del plumaje, el vuelo en las aves es una de las características más conspicuas de la mayoría de los miembros de este grupo (Bostwick 2016). Se estima que las aves levantaron el vuelo hace unos 150 millones de años (Lovette 2016), mientras que los humanos empezamos a compartir con ellas el espacio aéreo hace apenas 100 años (Cleary & Dolbeer 2005). Actualmente, en muchos proyectos de infraestructura como parques eólicos o aeropuertos, el riesgo de colisión entre aves y aeronaves es inminente. Para el caso de colisiones, uno de los factores

más importantes, además de la altura del vuelo, es la talla del ave (Godínez 2006), mientras que, para los parques eólicos, la visibilidad es uno de los factores más significativos (Winkelman 1992b). Ante ello, es indispensable conocer las especies y la altura a la que vuelan las aves, para poder establecer medidas para minimizar la probabilidad de estos eventos.

Hasta ahora existen varios métodos para calcular la altura de vuelo de las aves. Thaxter *et al.* (2015) realizaron una revisión exhaustiva de los métodos y los enlistan en diez categorías. Entre estos,

<sup>1</sup> Laboratorio de Ecología Animal. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca, Instituto Politécnico Nacional. Calle Hornos 1003, Santa Cruz Xoxocotlán, 71230, Oaxaca, México.

\* Autor de correspondencia: elder.rv@hotmail.com (ERV)

podemos reconocer desde los más sofisticados que incluyen altímetros, telemetría, GPS o el empleo de radar; hasta los simples que incluyen encuestas visuales.

Debido a que en muchas ocasiones el acceso a la tecnología (radares, telemetría, colocación de altímetros en las aves) es difícil por cuestiones técnicas o económicas. El uso de funciones trigonométricas se convierte en la forma más accesible para estimar la altura de vuelo. Ante esta situación, y dado que la literatura no especifica cómo realizar dichos cálculos, se describe el desarrollo de dos métodos: uno que involucra a dos observadores y otro que se basa en un solo observador.

**1) Método basado en dos observadores (Triangulación)**

En este método se debe considerar que el registro de los ángulos en campo puede influir significativamente en los resultados, por lo que se debe tener especial cuidado al momento de tomarlos.

El método fue propuesto para estimar la altura de aves de vuelo alto (zopilotes, águilas, etc.) que abarcan grandes superficies en vuelo (Gill 2007), cuyo rango de altura de vuelo puede variar alrededor de 30 metros o más. Estas aves suelen tener alas largas y estrechas, lo que les

permite realizar vuelos prolongados con menor esfuerzo. Para que este método sea efectivo, se deben cumplir los siguientes supuestos: a) los observadores se ubican a la misma altura sobre el nivel del mar; el empleo de un GPS o un altímetro es de mucha utilidad, y b) solo se pueden estimar las alturas de vuelo de las aves que estén en algún punto entre los dos observadores. Para conocer la altura de vuelo en un momento dado, es necesario contar con la presencia de dos observadores entrenados y que mantengan comunicación en todo momento, por ejemplo, mediante radios de comunicación.

*1.1 Procedimiento*

a) Se deben de establecer dos puntos de observación (p y q) a una distancia conocida (LT) y que estén a la misma altura sobre el nivel del mar (Fig. 1). En un momento dado, los observadores registran el ángulo de observación del ave seleccionada con respecto a su ubicación (ángulos  $\alpha$  y  $\beta$ ) con ayuda de un clinómetro, clisímetro o cualquier instrumento o aplicación que lo permita.

b) Con ayuda de funciones trigonométricas podemos calcular la altura de vuelo (h) y la distancia lineal a la cual se observó el individuo desde cualquiera de los puntos de observación.

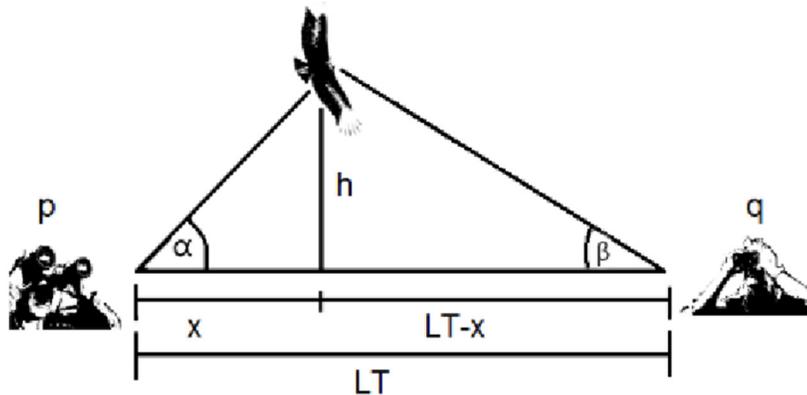


Figura 1. Variables consideradas para la estimación de la altura del vuelo (Fuente: Elaboración propia).

Como se carece del valor de los catetos y de la hipotenusa, el modo sencillo de relacionar los dos catetos de un triángulo rectángulo es emplear la función tangente (Tan) para cada uno de los triángulos.

Para el triángulo con el ángulo conformado por el observador ubicado en el punto "p" se tiene:

$$\text{Tan } \alpha = h/x$$

Donde h= altura del vuelo, y x= distancia lineal. Por lo tanto, la altura se estima como:

$$h = x (\text{Tan } \alpha) \text{ E.c. 1}$$

Para el triángulo conformado por el observador ubicado en el punto "q" se tiene:

$$\text{Tan } \alpha = h/LT - x$$

Por lo tanto la altura se estima como:

$$h = (LT - x) \text{Tan } \beta \text{ E.c. 2}$$

Igualando ambas ecuaciones:

$$x(\text{Tan } \alpha) = (LT - x)\text{Tan } \beta$$

Resolviendo para x:

$$x(\text{Tan } \alpha) = (LT \cdot \text{Tan } \beta) - (x \cdot \text{Tan } \beta)$$

$$(x \cdot \text{Tan } \alpha) + (x \cdot \text{Tan } \beta) = LT(\text{Tan } \beta)$$

$$x(\text{Tan } \alpha + \text{Tan } \beta) = LT(\text{Tan } \beta)$$

$$x = \frac{LT(\text{Tan } \beta)}{\text{Tan } \alpha + \text{Tan } \beta}$$

Para conocer la altura de vuelo y la distancia lineal entre el observador y el ave se sustituye el valor resultante (x) en cualquiera de las dos primeras ecuaciones (e.c. 1 o 2).

### Ejercicio de ejemplificación

Dos observadores situados a la misma altura se colocan en dos puntos extremos a

una distancia de 735 m. El observador "p" observa un ave con un ángulo de inclinación de 29°, y el observador "q" lo observa con un ángulo de 35°. Sustituyendo estos valores en las ecuaciones anteriores, se obtiene:

Sustituyéndolo en la E.c. 1 tenemos:

$$h = x (\text{Tan } \alpha) = 255.8(0.88) = 227$$

$$x = \frac{LT(\text{Tan } \beta)}{\text{Tan } \alpha + \text{Tan } \beta} = \frac{735(\text{Tan } 35)}{\text{Tan } 29 + \text{Tan } 35} = \frac{348.2}{1.36}$$

$$x = 255.8$$

Sustituyéndolo en la E.c. 2 tenemos:

$$h = (LT - x) \text{Tan } \beta = (735 - 255.8) \times 0.47 = 227$$

Por lo tanto, la altura de vuelo estimada por los observadores es de 227 m.

### 2) Método basado en un observador (Razón coseno)

Este método implica el uso de telémetros láser. Entre los factores negativos para su uso se encuentran las propiedades reflectoras del objeto, como ocurre con objetos porosos que pueden dispersar la señal de medición. Además, el tamaño del objeto puede afectar la precisión de la medición, especialmente en objetos pequeños que pueden no ser detectados correctamente por el dispositivo de medición. Las superficies oblicuas también pueden representar un desafío, ya que pueden distorsionar la señal de medición, especialmente la posición del cuerpo, la disposición de las plumas durante el vuelo y cualquier superficie no perpendicular al plano de medición. Las condiciones atmosféricas, como la neblina o la lluvia, pueden interferir con la señal de medición y reducir su alcance o precisión. Además, la vibración y las condiciones de luz pueden afectar la

estabilidad de la medición, especialmente en entornos con movimiento o cambios bruscos de iluminación (Vectronix 2006). Por lo tanto, su empleo para calcular la altura de vuelo de las aves en vuelo puede ser complicado y cuestionable. Se debe usar solo cuando exista la seguridad de que el láser registrará correctamente el objetivo (ave).

Como tal, el método se utiliza para estimar la altura de vuelo de aves que se desplazan a baja altura, por lo general alturas menores a 30 m, tales como aves cantoras, rapaces que cazan a baja altura como el halcón cernícalo, y aves acuáticas que vuelan sobre cuerpos de agua o áreas pantanosas. Para que sea efectivo, tanto el observador como el ave deben encontrarse en el mismo plano horizontal.

## 2.1 Procedimiento

a) Se debe establecer un punto de observación (p), calcular una distancia inclinada (hipotenusa). La distancia del observador al ave se obtiene con ayuda de un

telémetro o distanciómetro (*Rangefinder*).

b) Calcular el ángulo de observación del ave seleccionada (ángulos  $\alpha$ ) con ayuda de un clinómetro, clisímetro o cualquier instrumento o aplicación que lo permita (Fig. 2).

b) Con ayuda de la razón trigonométrica podemos calcular la altura de vuelo (= CO, cateto opuesto) y la distancia lineal (= CA, cateto adyacente) entre el ave y el observador.

Con la función tangente podemos calcular el C.O. como sigue:

$$\text{Tan } \alpha = \text{CO} / \text{CA}$$

$$\text{CO} = \text{Tan } \alpha (\text{CA})$$

Donde:

Tan = tangente del ángulo  $\alpha$

CA se calcula por medio de la función coseno y se tiene:

$$\cos \alpha = \text{CA} / \text{Hipotenusa}$$

$$\text{CA} = \cos \alpha (\text{Hipotenusa}) \text{ E.c. 4}$$

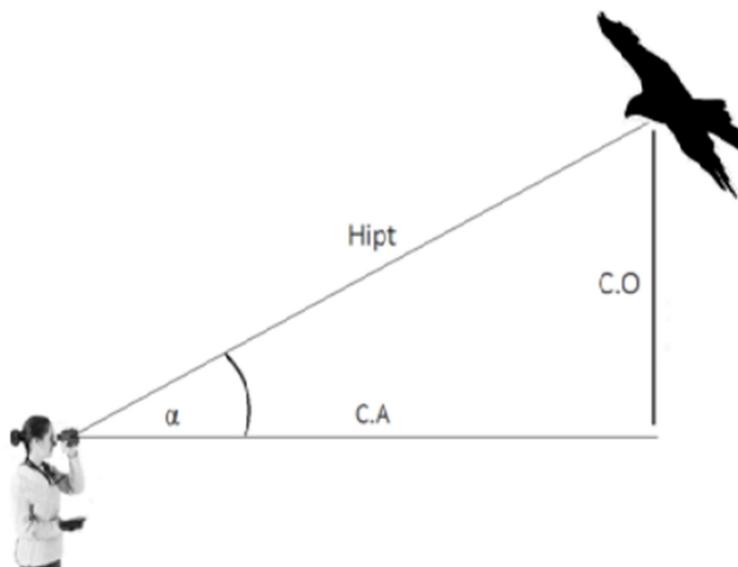


Figura 2. Variables consideradas para la estimación de la altura del vuelo (Fuente: Elaboración propia).

La altura total a la que vuela el ave será igual al valor de CA mas la distancia desde el suelo hasta el nivel de los ojos del observador. El valor de la hipotenusa se obtiene con ayuda de un telemetro láser.

En caso de que el terreno este por debajo del plano horizontal se aplica la siguiente formula (Ec. 5):

$$\text{Tan } \beta = bc/oc$$

sustituyendo para  $bc = oc * \text{Tan } \beta$  E.c. 5

### Ejercicio de ejemplificación

Un observador registra un ave con una distancia lineal de 23 m, y un ángulo de elevación de 23°.

$$\begin{aligned} CA &= \cos \alpha \text{ (Hipotenusa)} \\ &= \cos 23 \text{ (23)} \\ &= -0.5328 \text{ (23)} \\ &= -12.255 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} CO &= \text{Tan } \alpha \text{ (CA)} \\ &= 1.58 \text{ (-12.255)} \\ &= -19.46 \text{ m} \end{aligned}$$

La altura estimada es de 19.46 m.

En la actualidad, hay una variedad de métodos para medir la altura de vuelo de

las aves, aunque la mayoría son cualitativos, lo que puede implicar errores inherentes. Además, cada observador tiene sus propios criterios, lo que dificulta la comparación entre ellos. Aunque las funciones trigonométricas por sí solas son robustas, los sesgos de los observadores al tomar los datos pueden influir. No obstante, este enfoque proporciona una herramienta más eficaz, realista y económica en comparación con otros métodos disponibles.

Los métodos de Triangulación y Razón coseno pueden generar valores negativos. Esto, de ningún modo, debe considerarse como un error, ni mucho menos como alturas negativas, ya que los valores negativos únicamente indican la dirección o el sentido en el que se mide la magnitud de la función. Cuando se obtengan valores negativos basta con utilizar el valor absoluto del resultado de los cálculos.

### Agradecimientos

Al CIIDIR-Oaxaca, por las facilidades proporcionadas para el desarrollo del trabajo. También agradecemos a un revisor anónimo quien proporcionó valiosos comentarios para enriquecer el documento.

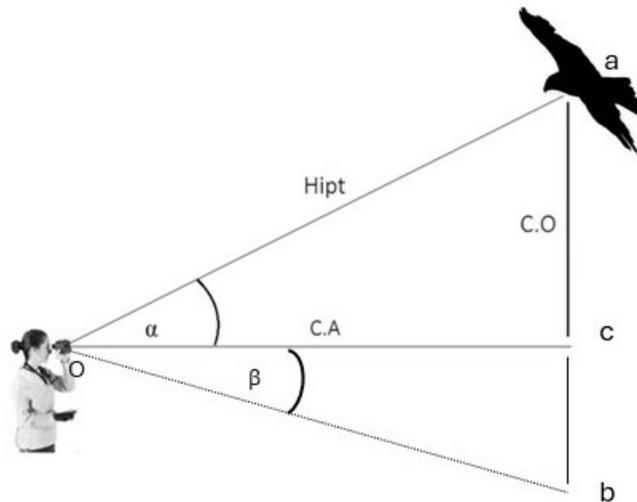


Figura 2. Variables consideradas para la estimación de la altura del vuelo, en un plano no horizontal.

## Referencias

- Bostwick, K. 2016.** Feathers and Plumages. Pp: 101-148. En: Lovette, I.J. & J.W. Fitzpatrick (Eds.). Handbook of bird biology. Cornell Laboratory of Ornithology- Wiley. UK 716 p.
- Cleary, E, V. & R.A. Dolbeer. 2005.** Manejo del Riesgo por Fauna Silvestre en Aeropuertos, Other Bird Strike and Aviation Materials. Federal Aviación Administración, Washington DC, United States. p. 2-10.
- Gill, F.B. 2007.** Ornithology. Third Edition. W. H. Freeman and Company. United States of America. 758 p.
- Godinez, E. 2006.** Aves y aeronaves: riesgos y peligro. Universal Books. Panamá, 123 p.
- Lovette I.J. 2016.** Avian Diversity and Classification. Pp: 7-62. En: Lovette, I.J. & J.W. Fitzpatrick (Eds.). Handbook of bird biology. Cornell Laboratory of Ornithology- Wiley. UK 716 p.
- Thaxter, C.B., V. H. Ross-Smith & A. Cook. 2015.** How high do birds fly? A review of current datasets and an appraisal of current methodologies for collecting flight height data: Literature review. BTO Research Report 666: 1-65.
- Vectronix. 2006.** VECTOR™ Mod B & VECTOR 23 – Manual de usuario. Recuperado de: <https://reloading.cc/applications/core/interface/file/attachment.php?id=14681> el día 03 de noviembre de 2020.
- Winkelman, J.E. 1992.** De invloed van de SEP-proefwindcentrale te Oosterbierum (Fr.) op vogels. 1: aanvaringslachtoffers. RIN-rapport 92/2-5. Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek (IBNDLO), Arnhem. Países Bajos, 71 p.