

# ACROBACIAS AÉREAS BAJO LA LLUVIA

VÍCTOR M. ORTEGA



Mientras la lluvia representa riesgos para los vehículos aéreos construidos por humanos, para los animales voladores pequeños, como los colibríes, los efectos son sólo marginales, a pesar de que su masa se cuenta en gramos –lo cual corresponde a siete órdenes de magnitud menos que las decenas de toneladas de un avión Boeing 737–. Sorprendentemente, su secreto radica en: la capacidad de repeler y expeler rápidamente el agua adherida al cuerpo –incluso, en pleno vuelo– y en sobreponerse al alto impacto que producen las gotas de agua al chocar contra ellos. Tales adaptaciones han permitido que estos pequeños organismos puedan volar, aun en tormentas de gran intensidad, sin muchas preocupaciones (figura 1).

Pero no nos adelantemos demasiado, ya que esto es sólo el comienzo del camino que recorreremos para descubrir juntos los secretos de cómo volar bajo la lluvia.



» FIGURA 1.  
Colibrí Cabeza Roja  
(*Calypte anna*)  
volando bajo la lluvia.  
(Foto: Víctor M. Ortega)

### QUIEN SIEMBRA LLUVIA, COSECHA TEMPESTADES

Es un martirio tener que pasar horas anclado en la sala de espera de un aeropuerto tras su cierre temporal por causa de la lluvia. Tal estrés puede llegar a ofuscar a los usuarios, al grado de orillarlos a exigir una pronta solución a cualquier trabajador que aparezca por allí. Afortunadamente, ellos nada pueden hacer al respecto, sino esperar con nosotros a que simplemente cese el meteoro. Digo *afortunadamente*, porque, de autorizar el despegue de un avión, se podría ocasionar una tragedia como la sucedida en 2007, en el aeropuerto de Congonhas, Brasil, donde una tormenta torrencial encharcó la pista y provocó que el avión del vuelo 3054, de la compañía TAM, derrapara durante el aterrizaje, chocara contra un depósito de combustible del aeropuerto y explotara. No hubo sobrevivientes.

Una aeronave que se encuentra volando bajo condiciones de lluvia debe enfrentar otros problemas que llegan a afectar su desempeño y maniobra, factores que pueden, finalmente, comprometer –dependiendo de la intensidad de la precipitación pluvial– la seguridad de tripulación y pasajeros. Pero, detengámonos brevemente a revisar algunos puntos de suma importancia sobre el acto de volar.

### PRINCIPIOS FÍSICOS DEL VUELO

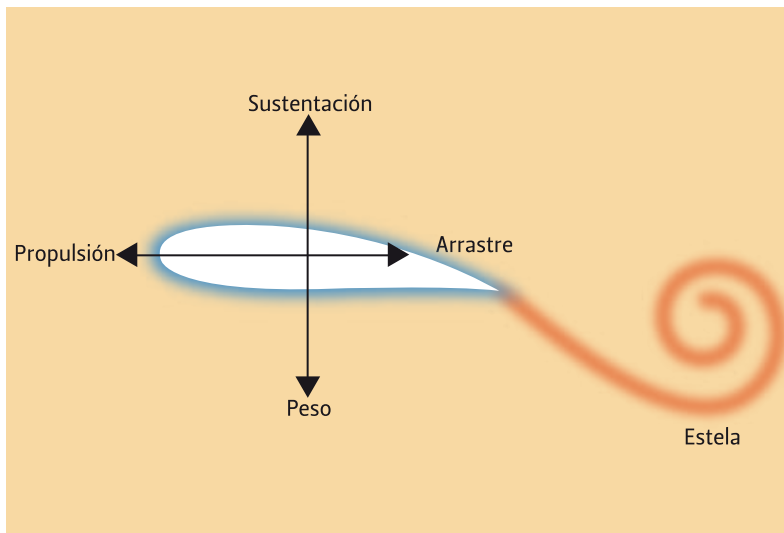
Lograr que un aeroplano o un avioncito de papel puedan volar, requiere que sus alas sean aptas para generar fuerzas aerodinámicas capaces de contrarrestar su propio peso y la fricción (o arrastre) resultante de la interacción: aire, fuselaje y alas. De acuerdo con la Tercera Ley de Newton: a toda acción obedece una reacción; la reacción a la cantidad de movimiento transmitido por las alas sobre las moléculas de aire a través del tiempo es nada menos que una fuerza, cuyos componentes brindan sustentación y propulsión al avión, y que a fin de cuentas, ayudan a contrarrestar el peso y el arrastre, respectivamente (figura 2). Un Boeing 737 debe bombear nada menos que 40 toneladas de aire por segundo, para viajar a una velocidad de 800 km/h. El movimiento transmitido al aire por las alas puede ser visto fácilmente en los remolinos que conforman la estela de humo dejada por un avión acrobático.

De todo esto se deduce que cualquier incremento en el peso o arrastre generados, ya sea por una aeronave o un organismo volador, dará lugar a un aumento de sus costos de vuelo. Pero, ¿qué efectos aerodinámicos produce la lluvia en un avión que se encuentra en pleno vuelo?

### SI EL AGUA ACABA CON LOS CAMINOS...

La lluvia torrencial puede ocasionar que un avión pierda sustentación hasta en 10% y experimente una desaceleración equivalente a 9% del empuje generado por las turbinas a máxima potencia; tales efectos son debidos al agua adherida a la superficie y, en mayor medida, al impacto de las gotas de agua sobre las alas y el fuselaje.

Es bien sabido que la fricción producida por el aire sobre el ala se incrementa con la rugosidad y la lluvia, precisamente, acrecienta la rugosidad del ala, debido a la formación de una fina capa de agua adherida a su superficie, y por los cráteres producidos sobre ésta tras el impacto de las gotas de lluvia. Dependiendo del ángulo de impacto, las gotas, además, producen una fuerza vertical y horizontal que resulta en un aumento tanto del peso como del arrastre. Sin embargo, para un avión moviéndose a 800 km/h, los impactos producidos por las gotas pueden causar daños permanentes en el ala, en forma de pequeñas abolladuras. Aunado a esto, la lluvia puede inducir que el flujo de aire adherido al ala se vuelva inestable y entre prematuramente en un estado de pérdida de sustentación o, en otras palabras, que el avión pierda altura de manera súbita y peligrosa.



Un avión enfrenta grandes problemas al volar bajo la lluvia, debido al impacto de las gotas de agua; en cambio, los colibríes pueden volar en condiciones de precipitación intensa sin perder control

>> **FIGURA 2.**  
Diagrama de fuerzas que intervienen en el vuelo.

## AL MAL TIEMPO, BUENA CARA

A diferencia de un avión, al que sólo se adhiere uno por ciento de agua de lluvia, relativo a su masa, las aves pueden llegar a mojarse hasta 10%; no obstante, el agua adherida representa un peso extra para los animales voladores, lo cual, como hemos visto, trae consigo incrementos en los costos de vuelo. En las aves marinas, el aumento de peso por razón del agua adherida al plumaje puede dificultar e, incluso, impedir el despegue.

Además de esto, los animales enfrentan otros problemas mientras permanecen mojados. Para los vertebrados, el riesgo de adquirir ciertos patógenos cutáneos aumentan si su piel permanece mojada por tiempo prolongado. Más aún, la gran capacidad del agua para absorber y almacenar calor puede incrementar los costos de regulación de la temperatura corporal; por ejemplo: cuando los murciélagos vuelan en la lluvia, incrementan su metabolismo al doble tan sólo por motivos de termorregulación.

Los colibríes son de especial interés a este respecto, pues, además de que la gran mayoría de ellos vive en zonas de lluvias frecuentes, y de catalogarse como los vertebrados voladores más pequeños de la naturaleza, se distinguen por su especial habilidad para batir sus alas y volar de manera estática en el aire por periodos prolongados, destrezas que no comparten con ninguna otra especie de ave. Gracias a su capacidad de vuelo y maniobra, estos organismos logran alimentarse del néctar producido por las flores y cazar insectos al

vuelo. Sin embargo, volar de esta manera es extremadamente costoso. Un colibrí debe consumir cada día una cantidad de alimento similar a su propio peso y, por si fuera poco, durante la noche debe bajar su temperatura corporal a la mitad, pues de lo contrario podrían, prácticamente, morir de inanición.

Recientemente, los colibríes han despertado gran interés por su extraordinaria capacidad para remover, casi por completo, el agua adherida a su plumaje durante un chubasco.

Al realizar experimentos de laboratorio con cámaras de video de alta velocidad (500 cuadros por segundo), con el fin de desentrañar los efectos de la lluvia sobre la capacidad de vuelo de estas aves, Robert Dudley, investigador de la Universidad de California, Berkeley, y un servidor, descubrimos que los colibríes sacudían sus cuerpos, de manera similar a como lo hacen los perros al mojarse (figura 3), pero con la asombrosa particularidad de que ¡podían hacerlo en pleno vuelo y sin mostrar pérdida de control aerodinámico!

Tales maniobras aéreas son extremadamente rápidas, de apenas una décima de segundo y consisten en oscilaciones de cuerpo, cabeza y cola, sincronizadas con las alas, que se mueven en dirección opuesta, a una frecuencia casi la mitad de la que les toma cerner sus alas y con una aceleración 14 veces mayor a la que experimenta una persona en caída libre. En la Segunda Guerra Mundial, los pilotos llegaban a perder el conocimiento momentáneamente cuando realizaban maniobras que sobrepasaban la mitad de la aceleración alcanzada por los colibríes.

## ACROBACIAS AÉREAS BAJO LA LLUVIA

La flexibilidad de las plumas, en conjunto con las oscilaciones del cuerpo y, principalmente, de la cabeza, contribuye grandemente a remover las gotas de agua más firmemente adheridas, ya que se produce un efecto de látigo que incrementa la velocidad angular, facilitando así la eyección de la gota. Por cierto, los lavacoches suelen emplear esta técnica de látigo al secar su franela.

Aún más, existe evidencia sugerente de que tanto la lluvia ligera como la moderada afectan sólo de manera marginal a los colibríes mientras vuelan. En contraste, bajo condiciones de lluvia intensa, sufren ligeros incrementos (9%) en su costos de vuelo, en comparación con los generados al volar sin lluvia y, aunque tales costos van acompañados de cambios posturales y biomecánicos –como mantener una orientación horizontal del cuerpo y, en cuanto al aleteo: alta frecuencia y baja amplitud–, increíblemente, no muestran signos graves de desestabilización. Además de que sus plumas, caracterizadas por tener propiedades repelentes al agua (figura 4), parecen contribuir para amortiguar la fuerza generada durante el impacto de las gotas hasta en 50%.

Los colibríes son capaces, incluso, de sacudirse en pleno vuelo, para remover los excesos de agua de sus cuerpos



>> FIGURA 3.  
Colibrí Cabeza Roja  
sacudiéndose el agua.  
(Foto: Víctor M. Ortega)



» FIGURA 4.  
Las plumas de los colibríes  
presentan propiedades  
hidrofóbicas.  
(Foto: Víctor M. Ortega)

El estudio de las habilidades aerodinámicas del colibrí en la lluvia, podría ayudar a entender mejor sus adaptaciones para enfrentarse a perturbaciones naturales, y nos permitiría mejorar la tecnología abocada al vuelo

No obstante, los colibríes no son los animales más pequeños que pueden volar en la lluvia (figura 5). Más de 5 millones de especies de insectos requieren volar alguna vez en su vida bajo tales condiciones. Mosquitos y moscas grulla (Tipulidae) pueden hacerlo y, a decir verdad, muy bien, gracias a que sus cuerpos con fuertes exoesqueletos, están provistos de superficies extrarrepelentes al agua, lo cual disminuye sus problemas de carga extra, y también a que, tras el impacto de una gota de lluvia –cincuenta veces más pesada que ellos–, tienen la habilidad de recobrase casi de inmediato. El cómo lo hacen es todavía un misterio.

### QUIEN NO VE CHIQUITO, NO VE GRANDE

Tales adaptaciones para volar en la lluvia han contribuido a que la mayor parte de las ~300 especies de colibríes en América (único continente donde ahora viven) pasen su vida en zonas de lluvias frecuentes, como las tropicales. Recordemos que los colibríes (pertenecientes a la familia Trochilidae) son la segunda familia más diversa de todas las aves, apenas por debajo de los papamoscas (Tyrannidae). Es por esto que el estudio de sus habilidades aerodinámicas en la lluvia podría ayudar a entender más sobre las impresionantes adaptaciones que tienen para enfrentarse a perturbaciones naturales día con día. Dichos estudios podrían derivar no sólo en el diseño de microvehículos voladores, sino en el desarrollo de aspas, alas y fuselaje de aeronaves con superficies más similares a las plumas, con propiedades repelentes al agua y con una estructura tal que permita absorber los altos impactos producidos por las gotas de lluvia. Además, la aplicación del efecto de látigo, debido a la rápida aceleración y desaceleración, durante las oscilaciones experimentadas por las plumas de colibrí, podría dar pie al diseño de máquinas de secado más efectivas que las centrifugadoras empleadas hoy en día. No obstante, tocará a los ingenieros decir las últimas palabras al respecto, ya que de ser posible, son ellos quienes finalmente aplicarán estos conocimientos para hacer, si es el caso, nuestra vida más placentera y segura al viajar. ●

## ACROBACIAS AÉREAS BAJO LA LLUVIA



>> FIGURA 5.  
Mosca grulla  
(*Tipula oleracea*)  
con gotas adheridas.  
(Foto: Víctor M. Ortega)

**Víctor M. Ortega** es egresado del Doctorado en Ecología Marina del CICESE, y actualmente realiza una estancia posdoctoral en el Laboratorio de vuelo animal de la Universidad de California, *campus Berkeley*. Su investigación se centra en el control y maniobrabilidad de colibríes e insectos, en flujos complejos y turbulentos, la cual recibió apoyo de UC Mexus-Conacyt. C. e.: [vortega@berkeley.edu](mailto:vortega@berkeley.edu)

### LECTURAS SUGERIDAS PARA MÁS INFORMACIÓN

- Ortega-Jiménez & V. M., R. Dudley (2012). "Aerial Shaking Performance of Wet Anna's Hummingbirds". *J. Roy. Soc. Interface* 9: 1093-1099.
- Ortega-Jiménez, V. M. & R. Dudley. (2012). "Flying in the Rain: Hovering Performance of Anna's Hummingbirds under Varied Precipitation". *Proc. R. Soc. B.* (en prensa).
- Dudley, R. (2000). *The Biomechanics of Insect Flight*. Princeton University Press.
- Tennekes, H. *The Simple Science of Flight: From Insects to Jumbo Jets*. Massachusetts: Institute of Technology, 2009.
- Dickerson, A. K., P. G. Shankles, N. M. Madhavan & D. L. Hu. 2012. "Mosquitoes Survive Raindrop Collisions by Virtue of their Low Mass". PNAS (publicado en línea) <doi: 10.1073/pnas.1205446109>
- Haines, P., J. Luers. (1983). "Aerodynamic Penalties of Heavy Rain on Landing Aircraft". *Journal of Aircraft* 2: 111-119.
- Voigt, C. C., K. Schneeberger, S. L. Voigt-Heucke & D. Lewanzik. 2011. "Rain Increases the Energy Cost of Bat Flight". *Biol. Lett.* 7: 793-795.

### MATERIAL AUDIOVISUAL RECOMENDADO

- Video de un colibrí sacudiéndose el agua.  
<http://www.youtube.com/watch?v=nqx07LdCM7g>
- Ortega V. M. 2009. Plumas y Agua. Razón Áurea.  
<http://pergamo.cicese.mx/wordpress/2009/06/23/plumas-y-agua/>
- Ortega V. M. y Velázquez P. T. 2009. Amores extremos. Jornada en la Ciencia.  
<http://ciencias.jornada.com.mx/investigacion/ciencias-quimicas-y-de-la-vida/investigacion/amores-extremos>
- <http://news.sciencemag.org/sciencenow/2012/07/video-how-hummingbirds-weather-t.html?ref=hp>
- [http://www.nytimes.com/2012/07/24/science/hummingbirds-switch-gears-to-keep-flying-through-downpours.html?\\_r=1&ref=science](http://www.nytimes.com/2012/07/24/science/hummingbirds-switch-gears-to-keep-flying-through-downpours.html?_r=1&ref=science)

# CIENCIA Y DESARROLLO

REVISTA DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

## SUSCRÍBETE

y entérate cada mes de las novedades en  
investigación y tecnología de México y el mundo.

- México \$225
- Estudiantes\* en México \$150
- Centroamérica y el Caribe US \$84
- Sudamérica y Europa US \$100
- Resto del mundo US \$120

Nombre: \_\_\_\_\_

Compañía o escuela: \_\_\_\_\_

Calle y número: \_\_\_\_\_

Colonia: \_\_\_\_\_

C.P.: \_\_\_\_\_

Delegación: \_\_\_\_\_

País: \_\_\_\_\_

Ciudad: \_\_\_\_\_

Teléfono: \_\_\_\_\_

Fax: \_\_\_\_\_

Correo electrónico: \_\_\_\_\_

Deseo suscribir del número \_\_\_\_\_ al \_\_\_\_\_

Envía el cupón y la copia del comprobante de depósito o transferencia bancaria al fax 01 (55) 53 22 81 50 o al correo [maflores@conacyt.mx](mailto:maflores@conacyt.mx)

### Formas de pago

#### ▪ Depósito o transferencia bancaria

Cuenta 0560877111, clabe bancaria 072180005608771118, sucursal 2039-Centro Insurgentes Banorte, S.A.

#### ▪ Cheque

A favor del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

\*Envía copia de tu credencial vigente



Recibe gratis HÉLIX  
el suplemento de  
ciencia y tecnología  
para niños

(55) 5322 7700 • exts. 3504 y 8150  
[www.conacyt.gob.mx](http://www.conacyt.gob.mx)