

de calcular, si se tiene en cuenta el nombre del *fabricante*. En primer lugar, la parte inferior de las alas, que es cóncava, apenas deja escapar el aire en que gravita el ave con sus aleteos: además, las plumas, que son como una especie de terciopelo por las pequeñas plúmulas implantadas en ellas, obran muchísimo más eficazmente en el aire que si fuesen lisas.

Cuando cogemos una gran pluma de águila del Himalaya, nos cuestra trabajo azotar con ella el aire, á causa de la resistencia que su estructura aterciopelada la hace experimentar.

¿Qué sucede cuando el ave ha dado un vigoroso aletazo en el aire inferior, y se ha remontado al espacio? Aun cuando no replegue sus alas, la resistencia que experimenta sobre ella no será tan grande como la fuerza viva que ha tomado abajo; pues, en primer lugar, sus plumas son más lisas por encima que por debajo, y además forman un conjunto convexo en su parte superior, que tropieza con menos obstáculos al atravesar el aire; en segundo lugar, y sobre todo despues del aletazo, el ave las replega para aprovechar toda la fuerza ascensional que le ha comunicado su rápido esfuerzo, hecho de arriba abajo. Lo que hace que los primeros movimientos de los miembros sean muy vivos, es que están producidos por palancas de tercer género, las cuales tienen por punto de apoyo las articulaciones y por aplicacion de la fuerza el centro de los músculos. Resulta de aquí que las estremidades de los miembros adquieren un movimiento rapidísimo, pero solo en el primer momento de la accion del músculo. Al estender el brazo no le elevamos en realidad, sino que le lanzamos: lo mismo sucede con las piernas. El primer movimiento es sin disputa el más eficaz. Los andarines más veloces dan pasos muy cortos, y en la esgrima, la superioridad está de parte de los que imprimen á su arma evoluciones muy restringidas. En esto consiste que el ave pueda cernerse, es decir, sostenerse

con movimientos de ala insensibles, y al paso que el águila, inmóvil á una gran altura, reconoce una comarca entera para ver la presa que puede ofrecerle, el colibrí se alimenta con el jugo de las flores sin posarse en ellas.

En general, cuantos han querido remontarse por los aires por medio de su propia fuerza muscular aplicada á un sistema de alas análogo al de las aves, han echado de ver que la fuerza del hombre es insuficiente, no solo para elevarse, sino para sostenerse en el aire, resultado que podia preverse por la teoria, pues, con efecto, elevarse $4^{\circ}90$ en un segundo, equivaldria á llegar á una altura igual á la de las torres de Nuestra Señora de París en la quinta parte de un minuto.

«Si la fuerza de un caballo basta para levantar el peso de un hombre de aventajada estatura (75 kilogramos) un metro en un segundo, dice M. Babinet, la fuerza del hombre es, cuando más, la cuarta ó la quinta parte de la del caballo. Luego la fuerza del hombre no levantaria su propio peso en un segundo más que un cuarto ó un quinto de metro. Ahora bien; la gravedad, en el mismo tiempo, baja 5 metros el cuerpo del hombre, y por consiguiente, seria preciso suponer que uno de estos tuviese veinte ó veinticinco veces la fuerza de un hombre ordinario, para que su fuerza, bien utilizada, pudiera sostenerle en el aire. En resumen, el hombre está matemáticamente imposibilitado de volar, y tiene que recurrir para ello á motores auxiliares.»

Admitimos la deducción de M. Babinet, pero modificada con arreglo á las observaciones que hemos hecho más arriba acerca de la aceleracion del movimiento. El hombre deberia poder elevarse $0^{\circ}30$ en un cuarto de segundo.

MM. Ponton de Amecourt y de la Landelle, haciendo uso de pequeños resortes motores, han elevado y sostenido ligerós pesos á poca altura, todo el tiempo que duraba la accion de dichos resortes.

Seria preciso poder sustituir el peso del hombre al de aquellos modestos pesos, y la fuerza del vapor ó de la electricidad á dichos resortes. Para formarnos una idea exacta de estas condiciones, veamos el mecanismo adoptado por la naturaleza.

¿Bajo qué condiciones se efectúa el vuelo en los insectos y en las aves?

Un mosquito que pese 3 miligramos, tiene con las alas estendidas una superficie de 30 milímetros cuadrados; un animal semejante que pesara un kilogramo, tendria una superficie total de 10 metros cuadrados.

Una mariposa que pese 20 centigramos, tiene con las alas extendidas una superficie de 1,663 milímetros cuadrados; un animal semejante que pesara un kilogramo, tendria una superficie total de $8\frac{1}{3}$ metros cuadrados.

Una paloma que pese 290 gramos, tiene con las alas extendidas una superficie de 750 centímetros cuadrados; un animal semejante que pesara un kilogramo, tendria una superficie total de 2,586 cents. cuadrados; *mucho menos que el tercio, pero algo más que el cuarto de un metro cuadrado.*

Una cigüeña que pese 2 kilogramos 265 gramos, tiene con las alas extendidas una superficie de 4,506 centímetros cuadrados; un animal semejante que no pesara más que un kilogramo, tendria una superficie total de 1,988 centímetros cuadrados, *menos del quinto de un metro cuadrado.*

Una grulla de Australia que pese 9 kilogramos 500 gramos, tiene con las alas extendidas una superficie de 8,543 centímetros cuadrados; un animal semejante que no pesara más que un kilogramo tendria una superficie total de 899 centímetros cuadrados, *cerca de la undécima parte de un metro cuadrado.*

En virtud de lo que precede se vé que conforme aumenta el peso del animal, va disminuyendo proporcionalmente la superficie alada necesaria para sostenerle en la atmósfera, aunque los movimientos que deba hacer sean cada vez menos rápidos.

Un moscardon gasta proporcionalmente para volar mucha más fuerza que un águila.

Si el hombre se ensayase en la construccion de aparatos para volar, reconoceria que la fuerza que debe emplear disminuye proporcionalmente á medida que aquellos son más grandes.

Los movimientos de las alas de la mayor parte de los insectos son absolutamente invisibles. Si se observa atentamente un insecto que vuela, se verá que las regiones recorridas con sus alas presentan una apariencia media que se debe á la extraordinaria rapidez del movimiento, y que no permite que se distingan sino sus limites. M. Marey ha procurado representar la forma y rapidez de estos movimientos. Por ejemplo, atravesando un macrogloso con un alfiler, y teniendo cuidado de fijar el animal entre dos pequeños discos de corcho, con objeto de que pueda girar alrededor del eje que le atraviesa, se pueden examinar con facilidad sus alas en todos sentidos, advirtiéndose que si los limites de sus movimientos se marcan distintamente, su frecuencia escapa completamente á la vista del observador.

Como la observacion directa es impotente para suministrarnos datos relativos á la frecuencia de la oscilacion alar, ha habido que recurrir á otros métodos.

El insecto que se siente cautivo procura ante todo huir y vencer el obstáculo que se opone á su fuga; pero, reconociendo en breve la inutilidad de sus esfuerzos, renuncia á escaparse, y se abstiene de todo movimiento de alas. Entonces ya no es posible estudiar el juego de estos órganos por cuanto permanecen en reposo, y se necesita escitar al insecto á que haga nuevas tentativas de vuelo.

Para determinar la frecuencia de los aleteos, se puede emplear el *método acústico*, basado en el sonido emitido durante el vuelo. La mayor parte de los insectos producen al volar un zumbido, más ó menos agu-

do. La intensidad de este sonido, que puede determinarse por medio de una caja armónica ó cualquier otro instrumento de música, parece que deberá indicarnos los aletazos dados en un segundo.

Pero uno de los métodos mas eficaces es el gráfico.

Se tiene el insecto atravesado en un alfiler y se hace frotar la punta de su ala contra la superficie ahumada de un cilindro animado de un movimiento de rotacion. Comparando el gráfico obtenido de este modo con el que da un diapason cuyo número de vibraciones se conozca, es fácil deducir exactamente el número de aletazos dados en un segundo.

Este número es de 330 en la mosca comun.

—	240 en el moscardon.
—	290 en la abeja.
—	140 en la avispa.
—	75 en la esfinge diurna
—	28 en la libélula.
—	8 en la piérida del cáñamo.

Estos números representan vibraciones *dobles*, es decir, contando la bajada y la subida del ala por una vibracion.

El calor acelera los aleteos; el frio los disminuye.

El cansancio influye mucho naturalmente en la velocidad de estos movimientos. Un insecto descansado llega al máximum de rapidez. Los movimientos de ambas alas son isócronos.

Pasemos ahora al vuelo de las aves.

Seguramente no habrá una sola persona que no se haya parado á admirar las graciosas evoluciones de las aves mientras se deslizan por el espacio aéreo, dedicándose á sus cazas y á sus juegos. Acostumbrados á contemplar la facilidad con que se mueven y se sostienen por medio de sus alas en un medio invisible, acabamos por considerar este fenómeno como una cosa muy sencilla; y sin embargo, entraña una de las cuestiones científicas mas dignas de fijar nuestra atencion.

De las observaciones de M. Liáis resulta que el ala no encuentra ninguna resistencia al remontarse.

Cuando el ave se dispone á bajarla, la tiene un tanto inclinada de delante á atrás, de suerte que la resistencia del aire en el movimiento progresivo del animal, obra para levantar el cuerpo, como en el vuelo al cernerse. Cuando empieza el aleteo, el ala no baja paralelamente á sí misma, sino especialmente por su borde anterior. Luego se echa atrás, de modo que trabaja á la vez en aumentar la velocidad de translacion del ave, y en contrarestar la accion de la gravedad en el cuerpo. Cuando el movimiento toca á su fin, la parte posterior del ala aumenta en velocidad, de modo que vuelve á ponerse, como antes del aleteo, un poco debajo de la anterior. De aqui resulta que durante el descenso, todas las fuerzas desarrolladas sirven para resistir á la gravedad, y á la mitad del movimiento para aumentar el avance horizontal del ave.

Cuando el ala sube, conserva constantemente la inclinacion final de delante á atrás que ha adquirido.

Pero, si se tiene en cuenta el avance horizontal del ave durante el movimiento que hace el ala al subir, es fácil ver que esta última no encuentra resistencia sino por su borde.

Véase tambien que si las alas están mas inclinadas de lo necesario para que puedan aplicarse en la trayectoria de su borde anterior, sufren una resistencia en su cara inferior cuando se alzan, dando lugar á una fuerza ascendente á expensas del movimiento de progresion. En este caso, léjos de destruir una parte del efecto que han producido al bajar, como generalmente se cree, obrarán en el mismo sentido que en esta última circunstancia.

Por diferentes experimentos practicados há mucho tiempo, se sabe que la resistencia opuesta por el aire á un movimiento cuya velocidad varia y va aumentando es

mayor que la que se encuentra con una velocidad uniforme. Esto consiste en que, en el primer caso, el cuerpo movable tiene que empujar cierta masa de aire, que le acompaña en seguida en su movimiento de avance; ahora bien, cuando la fuerza aceleradora es muy grande y se detiene el movimiento antes que la velocidad final adquirida tenga cierto valor, caso en que se encuentran las alas de los animales, la parte de resistencia que resulta de la aceleracion del movimiento es muy grande con relacion á la que se manifiesta en el movimiento uniforme y que depende del cuadrado de las distancias. Así pues, en el vuelo de las aves y de los demás animales voladores, el fenómeno de reaccion predomina sobre los demás fenómenos de resistencia. Al lanzar el cuerpo del ave hácia abajo cierto volumen de aire por medio de sus alas, experimenta un retroceso parecido al de un cañon, en virtud del cual tiende á subir.

Los animales voladores poseen indudablemente poderosos músculos para bajar las alas, pero esto no prueba que tengan que esforzarse mucho para sostenerse en el aire. Si los músculos son poderosos, débese únicamente á la necesidad de emplear mucha fuerza á la vez, pero no á la de ejercitar esta fuerza de un modo casi continuo. A cada esfuerzo sigue un prolongado reposo, de suerte que el trabajo total efectuado es mínimo. Por el contrario, los músculos destinados á levantar las alas son débiles, porque estas deben levantarse con lentitud, como hemos visto ya al estudiar sus movimientos.

Por lo demás, en lugar de calcular la cantidad de trabajo que las aves necesitan para volar, es mas conveniente medirla. M. Liáis ha determinado con este objeto el peso de un gran número de aves, medido la superficie de sus alas y su velocidad de progresion, etc. Los resultados generales de estas averiguaciones han sido que la cantidad de

trabajo necesario para el vuelo no llega, por segundo, al tercio del peso del animal elevado á un metro de altura, y que la relacion entre dicho peso y la superficie de las alas crece segun la distancia entre las puntas de estas.

La última de estas leyes demuestra que el vuelo es tanto mas fácil cuanto mayor es el animal. Pero si esto es cierto cuando los animales se han lanzado ya á la atmósfera, no sucede lo mismo cuando intentan alejarse del suelo. Las aves pequeñas se remontan con mas facilidad que las grandes, y la causa se comprende desde luego.

Para separarse de la tierra, las aves saltan. Como la fuerza es casi proporcional al peso, y como la cantidad de trabajo que requiere un salto de igual altura es tambien proporcional al peso, resulta que todas las aves, sea cual fuere su tamaño, saltan á la misma altura. Ahora bien, al paso que el salto de las pequeñas especies basta para que sus alas no choquen contra el suelo, con las grandes, como la fragata ó el albatros, sucede lo contrario; pues cuando se hallan posadas en una playa, necesitan correr bastante tiempo antes de remontarse: una vez adquirida cierta velocidad horizontal, abren de pronto sus alas como si quisieran cernerse; luego la presion del aire debajo de ellas obra para disminuir la accion de la gravedad. Entonces saltan, y como su salto es mayor á causa de dicho alivio de peso, llegan á una altura suficiente para poder batir sus alas. Otras aves grandes, como las águilas ó los condores, evitan en lo posible posarse en tierra, y se mantienen en las rocas, desde las cuales pueden lanzarse al espacio con facilidad.

El resultado de esta disertacion es que los hombres podrán volar por la atmósfera, no en virtud de su fuerza fisica personal, sino con el auxilio de aparatos alados (ó hélices), movidos por alguna fuerza fisica poderosa, como el vapor ó la electricidad.