

# BIOMETRÍA DE LA PARDELA CENICIENTA *Calonectris diomedea* y PAÍÑO COMÚN *Hydrobates pelagicus* PARA EL ESTUDIO DE SU AEORODINÁMICA Y VUELO

## BIOMETRIA DEL VIROT *Calonectris diomedea* I DE LA NONETA *Hydrobates pelagicus* PER ESTUDIAR-NE L' AERODINÀMICA I EL VOL

Juan Carlos ALVAREZ \*, Angel PÉREZ \*\*  
i José MESEGUER \*\*\*

RESUMEN.- En este trabajo se analiza, desde unas medidas biométricas concretas, el vuelo y el aprovechamiento aerodinámico de la pardela cenicienta *Calonectris diomedea* y del paíño común *Hydrobates pelagicus*. Al mismo tiempo se pretende iniciar una base de datos lo suficientemente diversa y completa para estudiar, mas adelante, la aerodinámica del vuelo de las aves, así como la importancia que tienen los mecanismos de hipersustentación que presentan las alas y en concreto el álula. El álula actúa como un mecanismo llamado hipersustentador puesto que permite al ave volar a bajas velocidades en las cuales el ala perdería sustentación. Esta situación se da habitualmente durante los aterrizajes y despegues pero también puede presentarse en ciertas ocasiones durante el vuelo, al realizar maniobras acrobáticas, giros bruscos y operaciones que impliquen una pérdida de velocidad significativa.

*Palabras clave:* Pardela cenicienta, *Calonectris diomedea*, paíño común, *Hydrobates pelagicus*, aerodinámica, vuelo.

\* IDR/UPM, E.T.S.I. Aeronáuticos 28040 Madrid

S.E.O.-Halcyon., Ap. Correos nº 47. 2880 El Escorial, Madrid

\*\* S.E.O.-Halcyon., Ap. Correos nº 47. 2880 El Escorial, Madrid

\*\*\* IDR/UPM, E.T.S.I. Aeronáuticos 28040 Madrid

RESUM.- En aquest treball s'analitza, des d'unes mides biomètriques concretes, el vol i l'aprofitament aerodinàmic del virot *Calonectris diomedea* i de la noneta *Hydrobates pelagicus*. Alhora hom pretén iniciar una base de dades prou diversa i completa per estudiar-ne, més envant, l'aerodinàmica del vol, així com la importància que tenen els mecanismes d'hipersustentació que presenten les ales i, concretament, l'àlula. L'àlula actua com un mecanisme anomenat hipersustentador atès que permet que les aus puguin volar a baixes velocitats en les quals l'ala perdria sustentació. Aquesta situació es dona habitualment durant els aterratges i enlairaments, però també pot presentar-se en determinades ocasions durant el vol, en realitzar maniobres acrobàtiques, giros bruscs i operacions que impliquin una pèrdua de velocitat significativa.

*Paraules claw:* Virot, *Calonectris diomedea*, noneta, *Hydrobates pelagicus*, aerodinàmica, vol.

**SUMMARY.**- *Biometry of Cory's Shearwater* *Calonectris diomedea* and *British Storm-petrel* *Hydrobates pelagicus* and the study of their aerodynamics and flight. In this article, Cory's Shearwater *Calonectris diomedea* and British Storm-petrel's *Hydrobates pelagicus* flight and aerodynamics are analysed by taking certain biometric measures. At the same time we intend to recompile information for a data base, with complete and varied information, with the intention of studying in the future the aerodynamics of flight in birds; emphasising on the mechanisms of hypersustentation of the wing, and the role of alula. The alula, working as a hypersustention feature of the wing, allows the bird to fly at low speeds without loses in lift. This situation generally occurs at landings and take-off, but it sometimes happens during flight, when making acrobatic manoeuvres, sharp turns and motions which cause a significant loss of speed.

**Key word:** Cory's shearwater, *Calonectris diomedea*, British Storm-petrel, *Hidrobates pelagicus*, aerodynamics, flight.

## INTRODUCCIÓN

La característica más llamativa de las aves es su capacidad de volar, pero existiendo una variedad tan grande de éstas y estando distribuidas por medios tan diferentes sería ingenuo creer que todas tienen un aprovechamiento similar de su capacidad de vuelo. De hecho, es por todos usado el comportamiento y el tipo de vuelo para identificar a una gran variedad de especies.

Con una biometría determinada y otros parámetros del ave se puede tener una idea del aprovechamiento aerodinámico del ala y así acercarnos a su sistema de vuelo, si ampliamos estas medidas a un máximo de especies podemos tener elementos de comparación y así establecer criterios con mas precisión.

La sustentación en un perfil alar viene condicionada por la presencia de dos corrientes de aire que corren respectivamente en la superficie superior del ala (extradós) y en la inferior (intradós). El resultado de esto es una fuerza que «tira» del ala perpendicularmente al flujo de aire que incide en el ala, esta fuerza  $L$  (ver figura I) esta definida por la siguiente ecuación:

$$L=1/2\rho V^2 S C_L$$

## INTRODUCCIÓ

El tret més vistós de les aus és la seva capacitat de volar, però, en existir-ne una varietat tan gran i en estar distribuïdes per mitjans tan diferents seria ingenu creure que totes tenen un aprofitament similar de la seva capacitat de vol. De fet, és de tots conegut l'ús del comportament i del tipus de vol per identificar una gran varietat d'espècies.

Amb una biometria determinada i altres paràmetres de l'au es pot tenir una idea de l'aprofitament aerodinàmic de l'ala i, d'aquesta forma, acostar-nos al seu sistema de vol, si ampliam aquestes mides a un màxim d'espècies podem tenir elements de comparació i, per tant, establir criteris amb més precisió.

La sustentació en un perfil alar es condicionada per la presència de dos corrents d'aire que corren, respectivament, en la superfície superior de

l'ala (extradós) i en la inferior (intradós). El resultat d'això és una força que estira l'ala perpendicularment al flux d'aire que incideix en l'ala, aquesta força  $L$  (veure figura I) és defineix amb la següent equació:

Donde,  $\rho$  es la densidad del aire,  $V$  la velocidad a la que el aire circula por las superficies,  $S$  la superficie del ala y  $C_1$  es un coeficiente de sustentación que puede estar sujeto a ciertas variaciones como más adelante veremos. Por el análisis de la ecuación podemos deducir que cuando el ave reduce su velocidad  $V$ , si quiere mantener la misma sustentación  $L$ , tendrá que modificar a su vez su coeficiente de sustentación  $C_1$ .

Para poder incrementar este valor se aumenta el ángulo de ataque  $\alpha$ , o sea, el ángulo formado entre el plano de la superficie del ala y la dirección del flujo de aire, el ave con esta operación fuerza las velocidades del aire circulante por las dos superficies para así compensar su insuficiente velocidad. No obstante, este ángulo puede aumentarse hasta un punto en donde se sufre una caída brusca de la sustentación, esta situación se llama entrada en pérdida.

La entrada en pérdida se produce por que la capa de aire que circula por el extradós se desprende de la superficie del ala generando turbulencias que alteran drásticamente la situación de la que hablábamos en un principio y por lo

On,  $\rho$  és la densitat de l'aire;  $V$  la velocitat a la qual l'aire circula per les superfícies;  $S$ , la superfície de l'ala i  $C_1$  és un coeficient de sustentació que pot dependre de certes variacions, com veurem més avall. Per l'anàlisi de l'equació, podem deduir que quan l'au redueix la velocitat ( $V$ ), si vol mantenir la mateixa sustentació ( $L$ ), haurà de modificar, alhora, el seu coeficient de sustentació ( $C_1$ ).

Per poder incrementar aquest valor s'augmenta l'angle d'atac ( $\alpha$ ), o sigui, l'angle format pel pla de la superfície de l'ala i la direcció del flux d'aire. L'au, amb aquesta operació, força les velocitats de l'aire circulant per les dues superfícies per tal de compensar la seva insuficient velocitat. Això no obstant, aquest angle pot augmentar-se fins a un punt on hi hagi una caiguda brusca de la sustentació, aquesta situació s'anomena entrada en pèrdua.

L'entrada en pèrdua es produeix perquè la capa d'aire que circula per l'extradós es desprèn de la superfície de l'ala i genera turbulències que alteren dràsticament la situació de què parlàvem en un principi i, per tant, impedeix

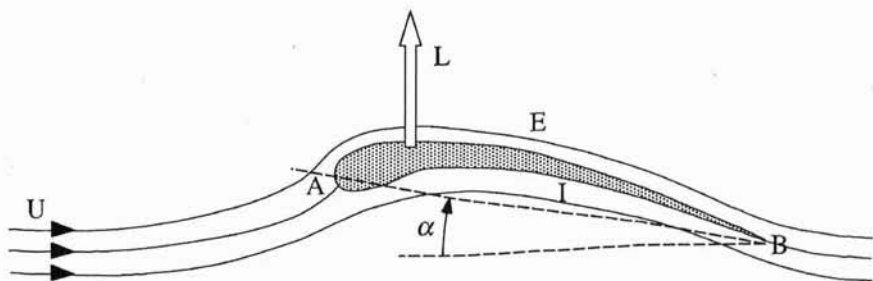


Figura 1. Perfil alar. A: borde de ataque. B: borde de salida. E: extradós. I: intradós. L: sustentación.  $\alpha$ : ángulo de ataque. U: flujo de aire.  
 Perfil alar. A: caire d'atac. B: caire de sortida. E: extradós. I: intradós. L: sustentació.  $\alpha$ : angle d'atac. U: flux d'aire.  
 A: leading edge. B: trailing edge. E: extrados. I: intrados. L: lift. A: angle of attack. U: air flow.

tanto, impidiendo que se generen las fuerzas necesarias para que el perfil, y con ello el ave, vuele. El álula actúa retardando todo lo posible el desprendimiento de esta capa y así manteniendo la corriente que genera esta sustentación (VON HOLST y KUCHEMAN, 1942; STORER, 1948; WARD-SMITH, 1984).

La forma del ala tiene también mucho que ver con su rendimiento aerodinámico, las alas alargadas, características de las aves marinas, son muy eficientes en el planeo pero admiten pocas situaciones comprometidas y son demasiado largas para ser controladas con facilidad por los músculos (STORER, 1948). Estas alas están capacitadas para ofrecer una gran superficie de sustentación porque alejan del cuerpo del ave los remolinos que se forman en sus extremos al intentar, el aire que pasa bajo el ala, ascender a la zona superior de ésta, por las diferencias de presión generadas. Estos remolinos crean una gran resistencia que resta eficiencia al ala, para minimizar la acción de esta resistencia es necesario que el ala tenga un máximo de superficie, con capacidad de sustentación, desprovista de la influencia de estos remolinos.

Las aves marinas, especializadas en sobrevolar grandes extensiones de agua, tienen que aprovechar favorablemente las corrientes de aire que se generan en estos medios para recorrer grandes distancias en busca de alimento ya que la dispersión de éste puede llegar a ser alta. Estas corrientes son principalmente de carácter horizontal, dándose un fenómeno de gradiente de viento (GRAY, 1968; PENNYCUICK, 1975) En el cual las capas mas bajas, las que estarían en contacto con la superficie marina, tendrían velocidades menores a las que gradativamente iríamos encontrando según ascendiésemos.

que es generin les forces necessàries perquè el perfil i, amb ell l'au, voli. L'àlula actua retardant tot el possible el desprendiment d'aquesta capa i, així, es manté el corrent que genera aquesta sustentació (VON HOLST i KUCHEMAN, 1942; STORER, 1948; WARD-SMITH, 1984).

La forma de l'ala té també molt a veure amb el seu rendiment aerodinàmic, les ales allargades, característiques de les aus marines, són molt eficients per planar però admeten poques situacions compromeses i són massa llargues perquè els músculs les controlin fàcilment (STORER, 1948). Aquestes ales poden oferir una gran superfície de sustentació perquè allunyen del cos de l'au els remolins que es formen en els extrems quan l'aire que passa sota l'ala intenta ascendir a la zona superior, a causa de les diferències de pressió que es generen. Aquests remolins creen una gran resistència que resta eficiència a l'ala, per minimitzar l'acció d'aquesta resistència és necessari que l'ala tengui un màxim de superfície, amb capacitat de sustentació, desprovista de la influència d'aquests remolins.

Les aus marines, especialitzades a sobrevolar grans extensions d'aigua, han d'aprofitar favorablement els corrents d'aire que es generen en aquests mitjans per recórrer grans distàncies a la recerca d'aliments ja que la seva dispersió pot arribar a ser alta. Aquests corrents són principalment de caràcter horitzontal, i apareix un fenòmen de gradient de vent (GRAY, 1968; PENNYCUICK, 1975) en què les capes més baixes, les que estarien en contacte amb la superfície marina, tendrien velocitats menors a les que gradualment trobaríem segons pujàssim.

Como ya hemos visto un aumento de la velocidad proporciona mas sustentación con lo cual el ave, cuando volase de cara al viento, podría ganar altura, y por lo tanto energía potencial al irse encontrando cada vez con aire circulando a mas velocidad. De esta forma alternado vuelos ascendentes con otros descendentes y describiendo un zigzag o una serie de espirales el ave puede progresar durante largas distancias sacando un gran partido a estas circunstancias (GRAY, 1968; PENNYCUICK, 1975).

## MATERIAL Y METODOS

El presente trabajo se desarrolla a partir de las medidas tomadas en pardela cenicienta (*Calonectris diomedea*) y paiño común (*Hydrobates pelagicus*) aprovechando las campañas de anillamiento en el islote de Na Plana del Parque Nacional de Cabrera (Islas Baleares) durante las noches del 20 de julio de 1996 y 13 de agosto de 1997. Las medidas fueron tomadas de aves vivas recolectadas con redes y reclamos sonoros.

Los pesos para pardela cenicienta no pudieron ser obtenidos, por lo que se tomó una media, con su desviación estándar correspondiente, ya publicada (ARAUJO *et al.*, 1977).

Los parámetros analizados son los siguientes: Peso (p): Según CEBAYOS *et al.* (1984). Ala extendida (d): esta medida recoge la máxima longitud del ala desde el tórax, por lo que se obtuvo midiendo la distancia desde el axila del ave hasta la punta de la primaria mas larga. Cuerda (c): según PENNYCUICK (1989). Álula (a): introduciendo un papel milimetrado entre el álula y el ala hasta hacer tope con la inserción, se midió la extensión máxima de las plumas del ala sobre el ala. Ala cuerda máxima (b): según SVENSSON (1992).

Com ja hem vist, un augment de la velocitat proporciona més sustentació, amb la qual cosa l'au, quan volàs de cara al vent, podria guanyar altura i, per tant, energia potencial en trobar-se cada cop amb aire circulant a més velocitat. D'aquesta forma, alternant vols ascendents amb altres de descendents i descrivint un zig-zag o una sèrie d'espirals, l'au pot progressar durant llargues distàncies traient un gran partit a aquestes circumstàncies (GRAY, 1968; PENNYCUICK, 1975).

## MATERIAL I MÈTODES

El present treball es desenvolupa a partir de les mides preses en el virot (*Calonectris diomedea*) i la noneta (*Hydrobates pelagicus*) aprofitant les campanyes d'anellament a l'illot de Na Plana del Parc Nacional de Cabrera (illes Balears) durant les nits del 20 de juliol de 1996 i el 13 d'agost de 1997. Les mides es prengueren d'aus vives recol·lectades amb xarxes i reclams sonors.

Les mides dels pesos del virot no es varen poder obtenir, per la qual cosa es prengué una mida, amb la seva desviació estàndard corresponent, ja publicada (ARAUJO *et al.*, 1977).

Els paràmetres analitzats són els següents: Pes (p): Segons CEBAYOS *et al.* (1984). Ala estesa (d): aquesta mida recull la màxima longitud de l'ala des del tòrax, i es va obtenir medint la distància des de l'axil·la de l'au fins a la punta de l'ala primària més llarga. Corda (c): segons PENNYCUICK (1989). Àlula (a): introduint un paper mil·límetrat entre l'àlula i l'ala fins fer topall amb la inserció, es va amidar l'extensió màxima de les plomes de l'àlula sobre l'ala. Ala corda màxima (b): segons SVENSSON (1992). Envergadura (E):

Envergadura (E): según PENNYCUICK (1989) y SVENSSON (1992). Superficie alar (sa): según PENNYCUICK (1989). Superficie total (st): según PENNYCUICK (1989). Los pesos están expresados en gramos (g), las medidas lineales están en milímetros (mm) y las superficies se reflejan en centímetros cuadrados (cm<sup>2</sup>).

Con los valores medios de estas medidas se calcularon los siguientes índices:

d/c : longitud del ala partido por la cuerda. Este índice fue llamado «alargamiento alar», ya que solo registra la forma de un ala. El «alargamiento» es un índice usado habitualmente en estudios de aerodinámica (Savile, 1957) que contempla la forma del conjunto compuesto por las dos alas mas el espacio entre éstas.

d/a : longitud del ala partida por la longitud del álula.

p/st : Peso partido por la superficie total. Este índice es denominado «carga alar» (VON HOLST y KUCHEMAN, 1942; STORER, 1948; PENNYCUICK, 1975; WARD-SMITH, 1984).

Para poder comparar con las dos especies estudiadas en este trabajo, en la tabla II se presentan los resultados obtenidos en otras especies a partir de datos obtenidos en jornadas de anillamiento (Grupo Halcyon-S.E.O.) y medidas de animales vivos o cadáveres frescos facilitados por un centro de recuperación de fauna autóctona (GREFA).

El número de muestras para *Calonectris diomedea* fue de 6 para las superficies totales (st) y de 14 para el resto de los datos. Y para *Hydrobates pelagicus*, fue de 10 para las superficies totales (st), y de 26 para el resto de los datos.

Los datos fueron tratados con programas informáticos (Excel. Microsoft.) y las superficies alares de las aves de poco porte (passeriformes) fueron digi-

segons PENNYCUICK (1989), i SVENSSON (1992). Superfície alar (sa): segons PENNYCUICK (1989). Superfície total (st): segons PENNYCUICK (1989).

Els pesos s'expressen en grams (g), les mides lineals estan en mil·límetres (mm) i les superfícies es reflecteixen en centímetres quadrats (cm<sup>2</sup>).

Amb els valors mitjans d'aquestes mides es varen calcular els següents índexs:

d/c, longitud de l'ala partida per la corda. Aquest índex fou anomenat «allargament alar», ja que només registra la forma d'una ala. L'«allargament» és un índex usat habitualment en estudis d'aerodinàmica (SAVILE, 1957) que contempla la forma del conjunt integrat per les dues ales més l'espai entre elles.

d/a : longitud de l'ala partida per la longitud de l'àlula.

p/st : Pes partit per la superfície total. Aquest índex s'anomena «càrrega alar» (VON HOLST i KUCHEMAN, 1942; STORER, 1948; PENNYCUICK, 1975; WARD-SMITH, 1984).

Per tal de poder fer comparacions amb les dues espècies estudiades en aquest treball, a la tabla II es presenten els resultats obtinguts en altres espècies a partir de dades obtingudes a jornades d'anellament (Grup Halcyon-S.E.O.) i mides d'animals vius o cadàvers frescos facilitats per un centre de recuperació de fauna autòctona (GREFA).

El nombre de mostres per a *Calonectris diomedea* fou de 6 per a les superfícies totals (st) i de 14 per a la resta de les dades. I per a *Hydrobates pelagicus*, fou de 10 per a les superfícies totals (st), i de 26 per a la resta de les dades.

Les dades es tractaren amb programes informàtics (Excel. Microsoft.) i les superfícies alars de les aus petites (passeriformes) i es digitalitzaren i cal-

talizadas y calculadas por un programa informático especial en la Cátedra de Aerodinámica de la Facultad de Ingenieros Aeronáuticos de la Universidad Politécnica de Madrid.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla I están reflejadas las medidas obtenidas, de las dos especies de aves tratadas en este trabajo con su desviación estándar correspondiente. En la tabla II se presentan los índices obtenidos en un total de 27 especies.

Para poder apreciar mejor la importancia del álula en cada una de las especies, se ha analizado el índice: d/a, cuanto mayor sea este resultado menor será la porción de ala ocupada por el álula y por lo tanto menor será su acción. Un ala que permita un vuelo acrobático con diversas situaciones de entrada en pérdida va a tener tendencia a ser ancha y corta, con una forma redondeada, va a demandar estructuras que generen sustentación en estos casos, por lo que las álulas bien desarrolladas van a estar generalmente asociadas a alas, como vamos a poder apreciar mas tarde, con índices d/c bajos.

cularen per un programa informàtic especial a la Càtedra d' Aerodinàmica de la Facultad de Ingenieros Aeronáuticos de la Universidad Politécnica de Madrid.

## RESULTATS I DISCUSSIÓ

A la taula I, s'hi reflecteixen les mides obtingudes de les dues espècies d'aus tractades en aquest treball amb la seva desviació estàndard corresponent. A la taula II es presenten els índexs obtinguts en un total de 27 espècies.

Per poder apreciar millor la importància de l'álula en cada una de les espècies, s'ha analitzat l'índex: d/a, com major sigui aquest resultat menor serà la porció d'ala ocupada per l'álula i, per tant, serà menor la seva acció. Una ala que permeti un vol acrobàtic amb diverses situacions d'entrada en pèrdua tendirà a ser ampla i curta, amb una forma arrodonada, demanarà estructures que generin sustentació en aquests casos, per la qual cosa les àlules ben desenvolupades generalment s'associaran a ales, com podem apreciar més avall, amb índexs d/c baixos.

Sp		p	d	c	a	b	E	sa	st
<i>Calonectris diomedea</i>	media	641,4	569	126	55,4	352	1202,6	557	1184,4
	desv.std	63,3*	19,79	9,76	4,97	5	24,09	40	81
<i>Hydrobates pelagicus</i>	media	27,82	166,5	46,7	18,3	122	357,4	65	141
	desv.std	2,625	4,159	1,74	1,23	1,46	7,01	4,4	9,7

Tabla I.- Medidas tomadas de las dos especies estudiadas. Peso (p), ala extendida (d), cuerda (c), álula (a), cuerda máxima (b), envergadura (E), superficie alar (sa), superficie total (st). Medidas con (\*) tomadas de ARAUJO *et al.* 1977.

*Mides preses de les dues espècies estudiades. Pes (p), ala estesa (d), corda (c), àlula (a), corda màxima (b), envergadura (E), superfície alar sa, superfície total (st). Mides amb (\*) extret d'ARAJO et al. 1977.*

Measurements: Weight (p), extended wing (d), chord (c), alula (a), maximum chord (b), span (E), wingspan (sa), total span (st)

El otro índice que se ha aplicado (d/c) nos da una idea de la forma que tiene el ala. Un índice d/c bajo nos indica alas redondeadas así como un índice alto, alas largas y estrechas. Por otro lado sabemos (WARD-SMITH, 1984) que la resistencia que genera el ala guarda una relación inversamente proporcional a este índice, por lo que entonces con alas provistas de índices altos estaríamos reduciendo esta resistencia y por lo tanto ganado eficiencia.

La carga alar (p/st) mantiene una relación con la velocidad de vuelo (PENNYCUICK, 1972; WARD-SMITH, 1984) de forma que con cargas alares altas la velocidad tiene que ser incrementada para que la sustentación sea la necesaria. Las aves que necesitan volar a altas velocidades tienen cargas alares también altas.

Como podemos observar en la tabla II los índices d/c y d/a de *Hydrobates pelagicus* y *Calonectris diomedea* son significativamente altos con respecto al resto de las especies registradas lo cual nos indica la presencia de un ala especializada en obtener unas prestaciones aerodinámicas altas. El índice d/a es notoriamente alto en las aves que nos ocupan, lo cual indica que el álula esta menos desarrollada que en las otras aves estudiadas, esto parece lógico puesto que este dispositivo va a ser menos usado por un ala de estas características, que como ya hemos visto, son alas menos maniobrables. Por otro lado el régimen de desplazamiento de estos animales no esta basado en continuos despegues y aterrizajes por lo que estos pueden estar reducidos al mínimo.

La carga alar como ya hemos visto está relacionada con la velocidad, *C. diomedea* se destaca singularmente del grupo con una carga alar elevada, lo que implica una velocidad alta del aire circulante por las superficies alares, cosa

L'altre índex que s'ha aplicat (d/c) ens dona una idea de la forma que té l'ala. Un índex d/c baix ens indica unes ales arrodonides així com un índex alt, ales llargues i estretes. D'altra banda, sabem (WARD-SMITH, 1984) que la resistència que genera l'ala guarda una relació inversament proporcional a aquest índex, i llavors amb ales provistes d'índexs alts estariem reduint aquesta resistència i, per tant, guanyant eficiència.

La càrrega alar (p/st) manté una relació amb la velocitat de vol (PENNYCUICK, 1972; WARD-SMITH, 1984) de forma que, amb càrregues alares altes la velocitat ha de ser incrementada perquè la sustentació sigui la necessària. Les aus que necessiten volar a altes velocitats tenen càrregues alares també altes.

Com podem observar a la taula II, els índexs d/c i d/a d'*Hydrobates pelagicus* i *Calonectris diomedea* són significativament alts en relació a la resta de les espècies registrades, fet que ens indica la presència d'una ala especialitzada en obtenir unes prestacions aerodinàmiques altes. L'índex d/a és notoriament alt en les aus que ens ocupen, cosa que indica que l'àlula és menys desenvolupada que a altres aus estudiades, això sembla lògic atès que aquest dispositiu serà menys usat per una ala d'aquestes característiques, que com ja hem vist, són menys maniobrables. D'altra banda, el règim de desplaçament d'aquests animals no es basa en continus enlairaments i aterratges i, per això, aquests es poden reduir al mínim.

La càrrega alar, com ja hem vist, es relaciona amb la velocitat, *C. diomedea* excel·leix singularment del grup per una càrrega alar elevada, fet que implica una velocitat alta de l'aire circulant per les superfícies alares, cosa, d'altra banda, necessària per al règim



Especie	d/c	d/a	p/st
<i>Calonectris diomedea</i>	4,5	10	0,541
<i>Hydrobates pelagicus</i>	3,57	9	0,197
<i>Bubulcus ibis</i>	2,7	5	0,338
<i>Gyps fulvus</i>	2,52	7	0,857
<i>Falco naumanni</i>	2,84	6	0,236
<i>Falco subbuteo</i>	2,7	5	0,22
<i>Athene noctua</i>	2,18	5	0,242
<i>Alcedo atthis</i>	2,31	5	0,307
<i>Hirundo rustica</i>	2,72	7	0,132
<i>Delichon urbica</i>	2,78	7	0,17
<i>Motacilla cinerea</i>	2,06	6	0,157
<i>Motacilla alba</i>	1,9	6	0,176
<i>Troglodytes troglodytes</i>	1,63	5	0,185
<i>Prunella modularis</i>	1,77	6	0,218
<i>Erithacus rubecula</i>	1,79	6	0,165
<i>Turdus merula</i>	1,86	5	0,317
<i>Turdus philomelos</i>	1,87	6	0,298
<i>Cettia cetti</i>	1,66	6	0,183
<i>Silvia borin</i>	2,19	6	0,254
<i>Silvia atricapilla</i>	1,9	5	0,229
<i>Phylloscopus collybita</i>	1,7	6	0,14
<i>Phylloscopus trochilus</i>	1,87	6	0,189
<i>Parus major</i>	1,76	7	0,167
<i>Pica pica</i>	1,81	5	0,258
<i>Sturnus unicolor</i>	2,22	5	0,34
<i>Passer domesticus</i>	1,9	5	0,257
<i>Fringilla coelebs</i>	1,96	6	0,171

Tabla II.- Índices elaborados a partir de las medidas ya citadas en diferentes especies. Alargamiento alar (d/c). Longitud del ala extendida dividido por el álula (d/a). Carga alar (p/st).

Índex elaborats a partir de les mides ja esmentades a diferents espècies. Allargament alar (d/c). Longitud de l'ala estesa dividit per l'àlula (d/a). Càrrega alar (p/st).

Index elaborated with the measures of different species. Wing extension (d/c). Length of wingspan divided by the alula (d/a). Wing weight (p/st).

por otro lado necesaria para el régimen de vuelo que ya hemos descrito anteriormente, donde la sustentación va a estar muy relacionada con la velocidad. *H. pelagicus*, no obstante, no tiene una carga alar que le signifique del grupo, probablemente por que su tamaño le permite aprovechar mas satisfactoriamente las pequeñas corrientes de componentes principalmente verticales, que se forman a causa de las olas (PENNY-

de vol que ja hem descrit anteriorment, on la sustentació es relaciona amb la velocitat. *H. pelagicus*, no obstant, no té una càrrega alar que la destaquí del grup, probablement perquè les seves proporcions li permeten aprofitar més satisfactoriament els petits corrents de components principalment verticals, que es formen a causa de les ones (PENNYCUICK, 1975) i, per això, sí necessiti mantenir una velocitat més

CUICK, 1975) y, para esto, sí necesite mantener una velocidad más baja que no le saque rápidamente de estas zonas. Por otro lado, las aves con cargas alares bajas e índices d/c altos son las más apropiadas para aprovechar este tipo de vuelo (SAVILE, 1957; WARD-SMITH, 1984).

Las dos aves aquí analizadas presentan sistemas de vuelo basados en dos situaciones diferentes. Por un lado tenemos las corrientes de aire formadas por las olas con su propio desplazamiento o en combinación con el viento existente, lo cual favorece a aves de poco porte como *H. pelagicus*. Por otro lado tenemos aves que aprovechan el gradiente de viento existente en la superficie del mar, estas aves necesitan cargas alares altas, lo que les permite tener tamaños mayores, como *C. diomedea*. Esto no excluye la posibilidad de que en situaciones de viento adversas algunas aves grandes, aprovechen estas corrientes formadas por olas, (PENNYCUICK, 1975) y que incluso se vean obligadas a combinar periodos de aleteo.

En cualquiera de los casos, el tamaño de las aves marinas suele estar más próximo al de *C. diomedea* que al de *H. pelagicus* lo cual nos puede llevar a reflexionar sobre cual de los dos sistemas aquí analizados puede resultar más rentable.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo no se podría haber llevado a cabo sin la colaboración del GOB (Grup Balear d'Ornitologia i Defensa de la Naturalesa), Balears. Greenpeace (Projecte Greenpeace VI-Zorba), Balears. GREFA (Grupo de Recuperación de la Fauna Autóctona), Madrid. José Fimia Fernández (Grupo SEO-Halcyon) El Escorial, Madrid. José Manuel Perales (E.T.S.I. Aeronáuticos. Universidad Politécnica) Madrid y Francisco José Cantos por la revisión del manuscrito.

baixa que no el tregui ràpidament d'aquestes zones. D'altra banda, les aus amb càrregues alars baixes i índexs d/c alts són les més apropiades per aprofitar aquest tipus de vol (SAVILE, 1957; WARD-SMITH, 1984).

Les dues aus aquí analitzades presenten sistemes de vol basats en dues situacions diferents. D'una banda, tenim els corrents d'aire formats per les ones amb el seu propi desplaçament o en combinació amb el vent existent, fet que afavoreix aus petites com *H. pelagicus*. D'altra banda, tenim aus que aprofiten el gradient de vent existent a la superfície del mar, aquestes aus necessiten càrregues alars altes, la qual cosa els permet tenir proporcions majors, com *C. diomedea*. Això no exclou la possibilitat que, en situacions de vent adverses, algunes aus grans, aprofitin els corrents formats per ones, (PENNYCUICK, 1975) i que, fins i tot, es vegin obligades a combinar períodes d'aleteig.

En qualsevol cas, les mides de les aus marines solen assemblar-se més a les de *C. diomedea* que a les de *H. pelagicus* cosa que ens pot fer reflexionar sobre quin dels dos sistemes aquí analitzats pot resultar més rendible.

## AGRAÏMENTS

Aquest treball no s'hauria pogut dur a terme sense la col·laboració del GOB (Grup Balear d'Ornitologia i Defensa de la Naturalesa), Balears. Greenpeace (Projecte Greenpeace VI-Zorba), Balears. GREFA (Grupo de Recuperación de la Fauna Autóctona), Madrid. José Fimia Fernández (Grupo SEO-Halcyon) El Escorial, Madrid. José Manuel Perales (ETSI Aeronáuticos. Universidad Politécnica) Madrid i Francisco José Cantos, per la revisió del manuscrit.

## BIBLIOGRAFIA

- ARAUJO, J.; MUÑOZ-COBOS, J. y PURROY, J. 1977. Las rapaces y aves marinas del archipiélago de Cabrera. *Naturalia Hispánica* nº 12. ICONA. Madrid.
- CEBAYOS, P.; MOLINA, J.; FRANCO, A. y PALACIOS, B. 1984. *Manual del anillador*. Servicio de Publicaciones Agrarias. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid
- GRAY, J. 1968. *Animal Locomotion*. Weindenfeld & Nicolson. Londres.
- PENNYCUICK, C.J. 1972. *Animal flight*. The Institute of Biology's Studies in Biology nº 33, Edward Arnold.
- PENNYCUICK, C.J. 1975. *Avian Biology, Volumen V*. Academic Press, Londres.
- PENNYCUICK, C.J. 1989. *Bird flight performance*. Oxford University Press.
- SAVILE, D.B.O. 1957. *Adaptive Evolution in the Avian Wing*. Evolution, Vol.11 212-224.
- STORER, H. 1948. *The Flight of Birds*. Cranbook Institute of Science, Bulletin nº28. Michigan.
- SVENSSON, L. 1992. *Identification Guide to European Passerines*. Sturegatan, Estocolmo.
- VON HOLST, E. y KUCHEMAN, D. 1942. *Biological and Aerodinamical Problems of Animal Flight*. J. Royal Aeronaut. Soc. Vol. 46.
- WARD-SMITH, J.A. 1984. *Biophysical Aerodynamics and the Natural Enviroment*. John Wiley and Sons, Nueva York.

(Rebut: 18.03.98; Acceptat: 23.04.98)