

LAS AVES DE LAS HOYAS (SERRANÍA DE CUENCA)

José LUIS SANZ

Doctor en Paleontología.

Unidad de Paleontología, Universidad Autónoma de Madrid.

Francisco Ortega

Universidad Nacional de Educación a Distancia.

Desde la antigüedad clásica, y probablemente mucho antes, el hombre se ha sorprendido por la capacidad voladora de las aves. Esta facultad ha sido reiteradamente interpretada en términos místicos, mágicos o religiosos, pero también escrutada en el ámbito de la ciencia. A partir del siglo XIX se plantean dos cuestiones clave: ¿de dónde proceden las aves? y ¿cómo adquirieron la capacidad de volar? El primer interrogante ha sido contestado en términos muy diversos. Por ejemplo J. B. Lamarck, en 1809, propuso que las aves proceden de las tortugas. En 1868 el brillante naturalista P. H. Huxley, el famoso “bulldog” de Darwin, asoció el origen de las aves a los dinosaurios. Por razones diversas, esta hipótesis se olvidó durante un siglo, hasta que en los años 1970 fue retomada por el paleontólogo norteamericano

John H. Ostrom. Los trabajos de Ostrom evidenciaron que un grupo determinado de dinosaurios terópodos, los dromeosaurios, son los tetrápodos conocidos más cercanamente emparentados con las aves. Durante los últimos 30 años la evidencia encontrada en el registro fósil que sustenta esta hipótesis ha sido abrumadora. Se han hallado incluso numerosas formas de dinosaurios dotadas de fúrcula (espolleta) y plumas, caracteres tradicionalmente asociados con las aves en los manuales de zoología y paleontología.

El registro fósil español entró en el ámbito de la investigación en paleornitología del Mesozoico durante los años 1980, con *Iberomesornis* (“ave intermedia de Iberia”). Este hallazgo constituyó un acontecimiento para



Fig.-1 *Iberomesornis romerali*, ave primitiva del Cretácico Inferior de Las Hoyas (Serranía de Cuenca). Museo de Las Ciencias de Castilla-La Mancha en Cuenca.



Fig.-2 *Iberomesornis romerali*, fotografía de fluorescencia inducida mediante luz ultravioleta. Museo de Las Ciencias de Castilla-La Mancha en Cuenca.

nuestra comprensión de la historia evolutiva temprana de las aves. En efecto, *Iberomesornis* seguía sustentando la hipótesis del origen dinosauriano de las aves, con una extremidad anterior (ala) y cintura escapular prácticamente iguales a las de un ave moderna, y extremidad posterior y cintura pélvica semejantes a las de un dinosaurio terópodo dromeosaurio. Pero además, los restos esqueléticos de esta ave primitiva proporcionaban por primera vez información sobre la historia evolutiva temprana de las aves. *Iberomesornis* procede del Cretácico inferior (hace unos 115 millones de años) de Las Hoyas (Serranía de Cuenca), que ha proporcionado además restos de otros dos géneros de aves primitivas: *Concornis* ("ave de Cuenca") y *Eoalulavis* ("ave de álula primigenia"). Las aves de Las Hoyas, como el resto de los fósiles de esta localidad, se han preservado en calizas litográficas procedentes de la sedimentación de un antiguo lago. Esta roca, de grano fino, ha permitido la conservación incluso de fibras musculares, sustituidas por carbonato de hierro, en el dinosaurio *Pelecanimimus* ("imitador del pelícano") o de la

nerviación en delicadas alas de insectos. El registro aviano de Las Hoyas incluye, además, una egagrópila (material regurgitado no digerido) de dinosaurio, la única que se conoce en todo el mundo. Este singular objeto fósil está compuesto por los restos de cuatro aves pertenecientes a un número mínimo de tres especies distintas. Actualmente se está trabajando en este material para identificar dichas especies.

Los fósiles avianos de Las Hoyas han sido de gran importancia para incrementar nuestro conocimiento de la forma de vida de las aves de hace algo más de 100 millones de años y el origen del vuelo moderno. La caja torácica de *Eoalulavis* contiene diminutos fragmentos de exoesqueleto de crustáceos, indicando posibles hábitos limícolas para esta ave del Cretácico inferior. Por otra parte, la egagrópila antes referida constituye la evidencia conocida más antigua de que las aves eran consumidas por otros tetrápodos. De manera que este linaje de dinosaurios alados formaba parte de las cadenas tróficas de

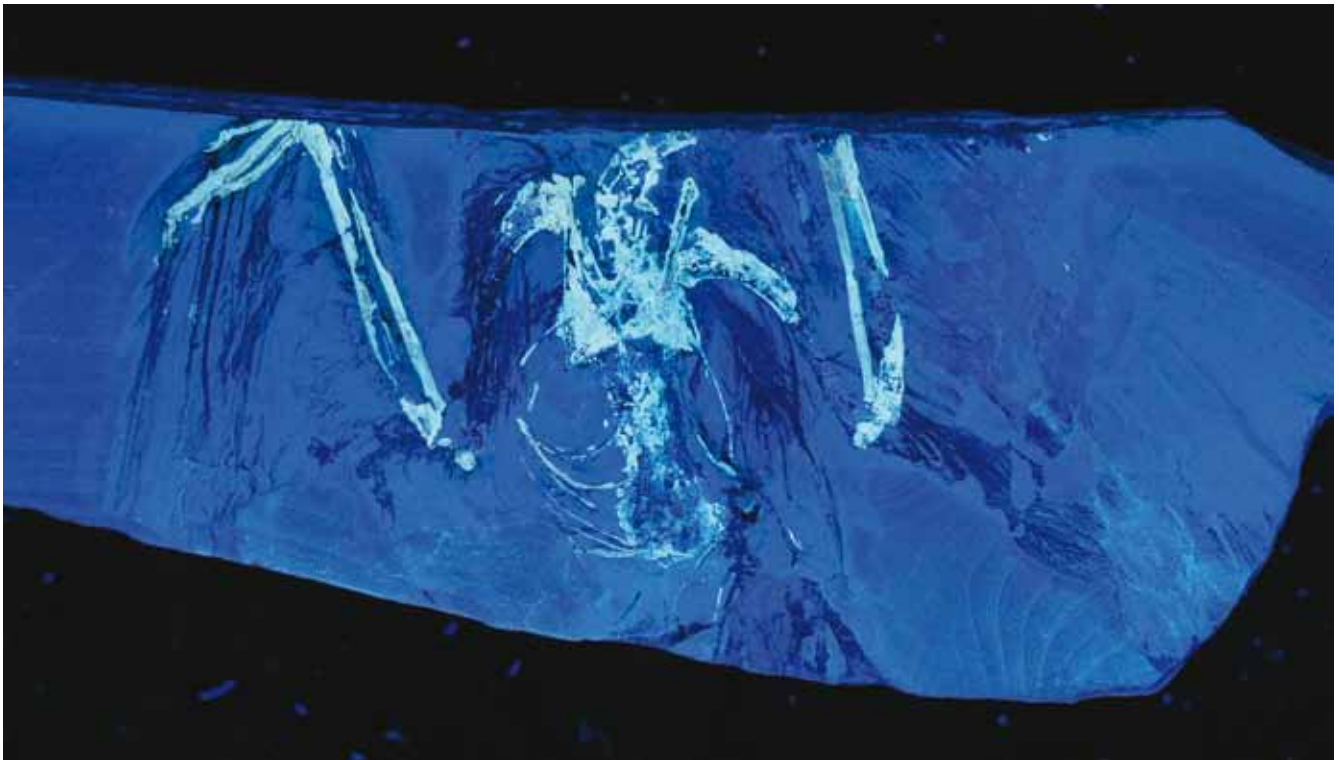


Fig.-3 *Eoalulavis hoyasi*, fotografía de fluorescencia inducida mediante luz ultravioleta. Museo de Las Ciencias de Castilla-La Mancha en Cuenca.

los ecosistemas continentales del Cretácico inferior. Además, otra conclusión es posible. El sofisticado patrón de comportamiento y novedades evolutivas fisiológicas asociados a la generación de egagrópilas en aves actuales es un rasgo heredado de sus antecesores, los dinosaurios no voladores.

El origen del vuelo en las aves es uno de los tópicos más debatidos en paleontología. Existen dos hipótesis alternativas. Una de ellas supone que las aves alcanzaron el vuelo batido a través de una secuencia de antecesores-descendientes que incluye a formas trepadoras-arborícolas-paracaidistas-planeadoras-voladoras activas (hipótesis conocida en inglés como “from the trees down”, “desde los árboles hacia abajo”). La otra (“from the ground up”, “desde el suelo hacia arriba”) postula formas bípedas corredoras terrestres como antecesoras de las aves. Estos ancestros utilizarían las extremidades anteriores (protoalas) para incrementar el impulso proporcionado por las extremidades posteriores. Las protoalas se convirtieron en verdaderas alas cuando, además de impulso, fueron ca-

paces de proporcionar sustentación en el aire, apareciendo así el vuelo activo. La posibilidad de refutación de una de las dos hipótesis a favor de la otra es escasa, dada su gran complejidad. No obstante, la segunda (también llamada del corredor) se ajusta mejor a la hipótesis filogenética del origen dinosauriano de las aves. En efecto, si nos planteamos la pregunta ¿cuál sería la forma de vida de los ancestros avianos? para intentar averiguar el escenario del origen del vuelo, la respuesta es clara: animales bípedos corredores terrestres.

Independientemente de cual de las dos hipótesis sobre el origen del vuelo sea la más probable, *Archaeopteryx* (“ala/pluma antigua”), el ave conocida más primitiva, era probablemente capaz de batir las alas, aunque tendría algunas dificultades para realizar determinadas maniobras en vuelo. Dado que *Archaeopteryx* tiene una edad de unos 140 millones de años (Jurásico superior) parece muy probable que el origen del vuelo moderno, tal y como lo realizan las aves actuales, tenga que ser situado durante el Cretácico in-

ferior. Felizmente, como ya se ha comentado, esta es la edad de las aves de Las Hoyas. Por tanto, estas aves nos pueden permitir extraer conclusiones sobre el origen del vuelo moderno. El aparato volador en las aves está compuesto de huesos, músculos y tendones y faneras (plumas). El registro de Las Hoyas ofrece, obviamente, información sobre el esqueleto, pero también relativa a músculos y plumas. El esqueleto de *Iberomesornis* contiene estructuras que pueden ser funcionalmente comparadas con las equivalentes de las aves actuales. La morfología y disposición de los huesos de la cintura pectoral indican la existencia de lo que se denomina foramen trióseo. Esta estructura permite el paso del ligamento supracoracoideo, que eleva las alas y las rota para hacer más eficaz el ciclo de batido asociado al vuelo activo. Esta disposición está ausente en *Archaeopteryx*, por lo que podemos pensar que constituye una novedad evolutiva que las aves del Cretácico inferior de Cuenca comparten con sus parientes actuales (neornitas). En definitiva, el ciclo

moderno de batido del ala apareció ya en las aves de hace 115 millones de años. Por otra parte, estas aves primitivas habían incrementado también la eficacia del apéndice caudal y de la fúrcula durante el vuelo. La cola de *Archaeopteryx* es semejante a la de un dinosaurio no aviano corredor, por ejemplo a la del famoso villano cinematográfico *Velociraptor*. En *Iberomesornis*, como en las neornitas, la cola se acortó y se simplificó en una única pieza denominada pigostilo. Esta novedad evolutiva está asociada a la aparición del bulbo rectricial que permite abrir y cerrar el abanico de plumas timoneras. La aparición del abanico rectricial mejora indudablemente determinadas funciones del vuelo como la capacidad de frenado, especialmente durante el aterrizaje, o el incremento en la capacidad sustentadora general. Por último, parece muy probable que la fúrcula de *Iberomesornis*, semejante a la de las aves actuales, permitiese a esta ave primitiva una aireación de los pulmones durante el vuelo batido más eficaz de lo que sucedía en la condición ancestral, ejemplificada por



Fig.- 4 Vista parcial de la excavación en Las Hoyas en julio de 2004. Pueden verse las facies de calizas lacustres tableadas que han permitido la preservación de los organismos y estructuras más delicados.

Archaeopteryx. De hecho, parece razonable pensar que la función de la fúrcula en el ave jurásica fuera primitiva, equivalente a la de los dromeosaurios (que, de momento, no conocemos).

A pesar de todas estas novedades evolutivas (foramen trióseo, pigostilo y fúrcula derivada) *Iberomesornis* no puede ser considerado como un volador en el sentido moderno, sino como uno de los primeros representantes del complejo conjunto de cambios evolutivos que condujeron a la aparición de las espléndidas habilidades voladoras de las neornitas. Para explicar esta posición intermedia de *Iberomesornis*, entre los primeros voladores activos y los voladores modernos, es necesario acudir al concepto de módulo locomotor. Se trata de una región músculoesquelética altamente integrada para realizar una función determinada durante la locomoción. En *Archaeopteryx* el módulo locomotor de las extremidades posteriores estaba asociado a la cola para la carrera sobre tierra. En efecto, el apéndice caudal, de gran tamaño, balanceaba el centro de gravedad del animal. Además, de la base de la cola nacían los músculos caudofemorales que movían hacia atrás las extremidades posteriores. Por otra parte, *Archaeopteryx* se caracteriza por el desarrollo de un complejo pectoral (alas y cintura escapular) que le permitía, como ya se ha comentado, un vuelo activo incipiente. Estas características de los módulos locomotores primitivos indican que la locomoción terrestre todavía era un componente importante en las primeras aves, aunque estudios recientes indican que *Archaeopteryx* sería ya capaz de levantar vuelo desde una carrera en tierra. A partir de esta condición ancestral “ando más que vuelo” la historia evolutiva de las aves se dirige a “vuelo más que ando” (salvo excepciones de linajes de aves corredoras o terrestres, pero todas proceden de antecesores voladores).

El proceso evolutivo de la transformación “más terrestre que volador” en “más volador que terrestre” es perfectamente esperable dada la condición de bípedos corredores de los ancestros cercanamente empa-

rentados con las aves. No obstante, el estudio de las aves de Las Hoyas añade información relevante a este proceso. Ya hemos visto la asociación de los módulos locomotores caudal y extremidades posteriores, más la independencia del pectoral, en el modelo primitivo “más terrestre que volador”. Esta condición ha cambiado radicalmente en las aves actuales, en donde se ha operado una independencia entre la cola y los apéndices posteriores durante la locomoción en tierra. En efecto, las neornitas se caracterizan por la no intervención del apéndice caudal durante la locomoción terrestre, incluso con la desaparición de los músculos caudofemorales en la mayor parte de los linajes de aves actuales. Sin embargo, ha surgido una nueva alianza entre el módulo pectoral y la cola para la ejecución del vuelo. Acorde con su posición filogenética y temporal intermedia entre *Archaeopteryx* y las neornitas, *Iberomesornis* también representa un punto intermedio en este proceso, algo así como “tan terrestre como volador”. En *Iberomesornis* la presencia de proporciones del ala, coracoides y fúrcula derivados, correlacionados con un pigostilo relativamente muy grande, indican que la alianza entre los módulos pectoral y caudal estaba comenzando a generarse. El tamaño del pigostilo sugiere la persistencia de musculatura caudofemoral y la intervención todavía de la cola en el balance estático y dinámico del animal. Por tanto, el desacoplamiento entre el módulo caudal y las extremidades aún no se había completado.

Asociadas a las novedades evolutivas comentadas en el aparato volador esquelético se generaron también modificaciones importantes que afectan a las propiedades biomecánicas del ala. Se conoce como carga alar al cociente entre el peso y la superficie de las alas (en este caso de un animal, pero puede referirse también a un avión). Durante la transición entre formas no voladoras-voladores incipientes (*Archaeopteryx*)-primeros voladores modernos (aves del Cretácico inferior) es de esperar que se redujese la carga de ala para facilitar el desarrollo inicial del vuelo activo. Esta hipótesis puede ser favorablemente

contrastada a partir del registro fósil disponible de la historia evolutiva de esta transición. Así, en dinosaurios con plumas no voladores como *Caudipteryx* (Cretácico inferior, China), la carga de ala se ha calculado en unos 12 Kg. /m², reduciéndose a la mitad en *Archaeopteryx* y pasando a 1,3 Kg. /m² en *Concornis* o 0,3 Kg. /m² en *Iberomesornis*. Este proceso de disminución de la carga alar hacia los primeros representantes de los voladores modernos en el Cretácico inferior está obviamente asociado a una reducción del peso. Los dromeosaurios pudieron variar entre 500- 25 Kg. (hay que tener en cuenta, no obstante, que el minúsculo *Microraptor*, del Cretácico inferior chino, dotada de cuatro alas, representa probablemente un linaje independiente no estrechamente emparentado con las aves). El peso de *Archaeopteryx* pudo oscilar entre 0,2 – 1 Kg. y el de *Iberomesornis* se ha calculado en unos 15- 20 gr. Todo parece indicar que durante el complejo proceso que condujo hacia los primeros representantes voladores modernos existió una presión de selección que favoreció la reducción de tamaño. Las neornitas registran una amplia variación de carga alar. Los valores mayores pueden ser interpretados como novedades evolutivas que retoman los existentes en formas primitivas (lo que se llama en sistemática filogenética una novedad evolutiva en reversión). Estos valores primitivos en aves modernas están relacionados con diferentes modalidades de vuelo. Por ejemplo, la velocidad de crucero depende de la carga alar. Cuanto mayor sea esta, más elevada es la primera. En esta relación entre la carga alar y la modalidad de vuelo es de gran importancia el concepto de alargamiento del ala. En su expresión más simple se trata entre el cociente entre su longitud (envergadura) y su anchura (cuerda).

La totalidad de aves conocidas de Jurásico superior-Cretácico inferior tenía alas de bajo alargamiento. Este morfotipo de alas, conocido como elíptico, tiene que ser consi-

derado primitivo y aparece hoy día en grupos dotados de una gran capacidad de maniobra, como paseriformes (pájaros) y columbiformes (palomas y tórtolas). A partir de esta geometría primitiva las neornitas han desarrollado diversos tipos de alas asociados a diferentes modos de vida (por ejemplo, morfotipos de gran alargamiento en planeadores rápidos como albatros y gaviotas).

Nuestro conocimiento sobre la evolución temprana del ala en las aves es todavía escaso, pero además de factores como la carga y el alargamiento, el registro fósil nos proporciona información sobre una estructura singular, el álula. El primer álula conocida aparece en *Eoalulavis*. Esta estructura, una serie de tres a cuatro plumas asociadas al primer dedo de la mano, permite a las neornitas frenar en vuelo. En efecto, si un individuo quiere frenar en el aire lógicamente debe aumentar la resistencia ofrecida por este fluido. Para ello lo más evidente es verticalizar las alas. Pero al realizar esta peligrosa maniobra el régimen laminar de aire que circula por encima del ala se transforma en turbulento (recuérdese que el flujo laminar es el que permite la diferencia de presión arriba y abajo del ala que genera la capacidad de sustentación). La aparición de este flujo desordenado del aire en torbellinos genera una arriesgada disminución de la capacidad de sustentación del ave (entra en pérdida). Cuando el álula se despliega incrementa el flujo laminar por encima del ala que puede disminuir o incluso eliminar las turbulencias, garantizando la capacidad de sustentación. El álula no existe en aves ancestrales como *Archaeopteryx* o *Confuciosornis* (“ave de Confucio”) y su presencia en *Eoalulavis* tiene que ser considerada como evidencia irrefutable de la aparición de una alta capacidad de maniobra en las aves del Cretácico inferior. En definitiva, las increíbles piruetas que una urraca actual puede trazar en el aire existieron ya, con otros protagonistas, en los cielos de hace más de 100 millones de años.